



TESIS UANCV



**UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**DEFORMACIÓN EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y SU
CONSECUENTE DETERIORO EN LOS PAVIMENTOS
ASFALTICOS EN LA CIUDAD DE JULIACA - 2016**

PRESENTADA POR
CIRO ERNESTO APAZA MAYTA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL
MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

JULIACA – PERÚ
2017



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**DEFORMACIÓN EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS Y SU
CONSECUENTE DETERIORO EN LOS PAVIMENTOS
ASFÁLTICOS EN LA CIUDAD DE JULIACA – 2016**

PRESENTADA POR

CIRO ERNESTO APAZA MAYTA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

MENCIÓN: GEOTECNIA Y TRANSPORTES

TESIS APROBADA POR:

PRESIDENTE

Dr. VÍCTOR JULIO HUAMAN MEZA

PRIMER MIEMBRO

Mgr. JOSÉ ANTONIO PAREDES VERA

SEGUNDO MIEMBRO

Mgr. ARNALDO YANA TORRES

ASESOR

Dr. ANGEL MANUEL OLAZABAL GUERRA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO**RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 1327 - USA - 2017- EPG/UANCV-J**

Juliaca, 26 de Diciembre del 2017

VISTOS:

El expediente Sol Val N° 046147 del (a) Bachiller **APAZA MAYTA CIRO ERNESTO**, con número de matrícula **1510101021** de la Maestría en Ingeniería Civil Mención: Geotecnia y Transporte, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de Juliaca.

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Bach **APAZA MAYTA CIRO ERNESTO**, con número de matrícula **1510101021** de la Maestría en Ingeniería Civil Mención: Geotecnia y Transporte, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de Juliaca, ha Solicitado la Sustentación del Dictamen de Tesis denominada **DEFORMACIÓN EN LAS MEZCLAS ASFALTICAS Y SU CONSECUENTE DETERIORO EN LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS EN LA CIUDAD DE JULIACA - 2016** para ser sustentada;

Que, el (a) referido (a) Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el **18 de Diciembre del 2017**, establece la fecha de sustentación; habiendo para el efecto cumplido los requisitos establecidos en el reglamento de Grado de Investigación conducente al Grado Académico de Magister y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

Que, en el Artículo 70 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Postgrado es un trabajo de investigación original y crítico, de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "h" del artículo 15 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 74 del Estatuto Universitario

SE RESUELVE:

PRIMERO.- NOMBRAR a los miembros del Jurado que calificarán la sustentación de la tesis del (a) Bach. **APAZA MAYTA CIRO ERNESTO**, con número de matrícula **1510101021** de la Maestría en Ingeniería Civil Mención: Geotecnia y Transporte, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de Juliaca, quien ha presentado el Dictamen de Tesis denominada **DEFORMACIÓN EN LAS MEZCLAS ASFALTICAS Y SU CONSECUENTE DETERIORO EN LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS EN LA CIUDAD DE JULIACA - 2016** nominado como **ASESOR** el (a) **Dr. ANGEL MANUEL OLAZABAL GUERRA**, siendo los jurados los siguientes docentes

Presidente
Primer Miembro
Segundo Miembro

Dr. VICTOR JULIO HUAMAN MEZA
Mgtr. JOSE ANTONIO PAREDES VERA
Mgtr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO.- DETERMINAR que la fecha de sustentación de Tesis, que se llevará a cabo fijando el siguiente lugar, fecha y hora:

Fecha
Hora
Local

Martes 26 de Diciembre del 2017
06 00 p.m.
Escuela de Posgrado - UANCV - JULIACA

A cuya finalización el Jurado registrará los resultados en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de Maestría con el grado de **MAESTRO** a los estudiantes que ingresaron Posterior a la aprobación de la ley Universitaria N° 30220.

TERCERO.- ELEVAR la presente Resolución al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento.

Regístrese, comuníquese y Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
JULIACA
DIRECTOR



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
JULIACA
SECRETARIO ACADÉMICO

Cc /Archv
OCM/vjcv



Esta Tesis la dedico a mi Padre que partió al Cielo al encuentro con el Señor, que con su ejemplo de padre aprendimos muchas cosas y nos enseñó a ser personas de bien con valores y principios, y ahora que esta con el Señor será mi ángel Guardián.

A mi Madre por ser un pilar fundamental en mi vida, por el apoyo moral para realizar las cosas que hago día a día.



Debo de Agradecer a las personas que apoyaron para poder realizar esta Tesis de acuerdo al Reglamento de la Escuela de Posgrado de la UANCV.

A mi familia por el apoyo moral e incondicional, para poder sustentar esta tesis, y dar un paso más en esta etapa de mi vida.



ÍNDICE

CARÁTULA	
JURADOS Y ASESOR	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE	v
RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xii

CAPÍTULO I EL PROBLEMA

1.1. Exposición de la situación problemática.	1
1.2. Planteamiento del problema.	2
1.2.1. Problema general.	2
1.2.2. Problemas específicos.	2
1.3. Justificación de la investigación.	3
1.4. Objetivos.	3
1.4.1. Objetivo general.	3
1.4.2. Objetivos específicos.	4

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación.	5
2.2. Marco teórico.	9
2.2.1. Definición de pavimento flexible	9



2.2.1.1. Ciclo de vida de un pavimento.....	10
2.2.2. Deformación en pavimentos asfálticos.....	13
2.2.2.1. Causas que originan las Fallas	14
2.2.2.2. Influencia de la graduación de los agregados.....	28
a. Forma, tamaño y textura de los agregados pétreos.....	30
b. Contenido de polvo mineral (filler) en la mezcla.....	32
c. Contenido de vacíos en el agregado mineral.....	35
d. Factores que influyen en la resistencia a la deformación...	36
2.2.3. Fallas que se presentan por deformación asfálticas.....	50
2.2.3.1. Ondulación.....	50
2.2.3.2. Abultamiento.....	52
2.2.3.3. Hundimiento.....	53
2.2.3.4. Ahuellamiento.....	55
2.3. Marco conceptual.	58
2.4. Hipótesis.	62
2.4.1. Hipótesis general.	62
2.4.2. Hipótesis específicas.	62
2.5. Variables.	63
2.5.1. Variable independiente.	63
2.5.2. Variable dependiente.	63
2.6. Operación de variables.	64

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Método de la investigación.	65
3.2. Diseño de la investigación.	66
3.3. Nivel y tipo de investigación.	67
3.4. Población y muestra.	68
3.4.1. Población.	68
3.4.2. Muestra.	68
3.5. Técnicas e instrumentos de investigación.	69



3.5.1. Técnica de recolección de datos.	69
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos.	69
3.6. Diseño de contrastación de la hipótesis.	69
3.6.1. Diseño estadístico.	69

CAPÍTULO VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.	71
-----------------------	----

CONCLUSIONES

SUGERENCIAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APÉNDICE

ANEXOS



RESUMEN

Ante la realidad en la que vivimos en la ciudad de Juliaca tenemos la necesidad para poder perfeccionar la tecnología de los pavimentos asfálticos en la Ciudad de Juliaca con la finalidad que se logren alcanzar la vida útil de los Pavimentos Asfálticos para los que se diseñados. Con la investigación bibliográfica se pretende estudiar la deformación de Pavimentos Asfálticos que es una de las fallas de la Ciudad de Juliaca; por ello es muy fundamental conocer a fin de tomar las previsiones para realizar una correcta ejecución de las Obras que se ejecutan en nuestra ciudad Juliaca.

El estudio de esta Investigación presenta el conocimiento de la deformación de pavimentos Asfálticos y las diferentes formas que se presenta en las capas del pavimento, originando fallas funcionales como estructurales en el pavimento; realizando además de conocer el cemento asfáltico y básicamente sobre su comportamiento reológico que nos de tal manera conocer mejor su comportamiento y sus propiedades parte constituyente de las mezclas asfálticas. Se debe precisar que es muy fundamental la elección y buen manejo de los agregados en cuanto a su gradación, forma, resistencia, etc., ya que estas inciden directamente en la deformación del Pavimento Asfáltico.



Finalmente, se tiene que dar soluciones en la Ciudad de Juliaca y para ello es indispensable contar con equipos de laboratorio y de campo que permitan realizar ensayos para manejar mejor la deformación en Pavimentos Asfálticos. Se precisa que los ensayos y equipos especializados que se utilizan y realizan en otras ciudades del mundo en la espera de contar con alguno de ellos en la ciudad de Juliaca y el Departamento de Puno; De acuerdo a esto podemos recomendar que continuar conociendo más y profundizar los estudios para el uso de los cementos asfálticos en acuerdo a la geografía y clima para la Ciudad de Juliaca; destacándose además la importancia de los procesos constructivos que eviten fallas por deformación y el buen manejo de agregados.



ABSTRACT

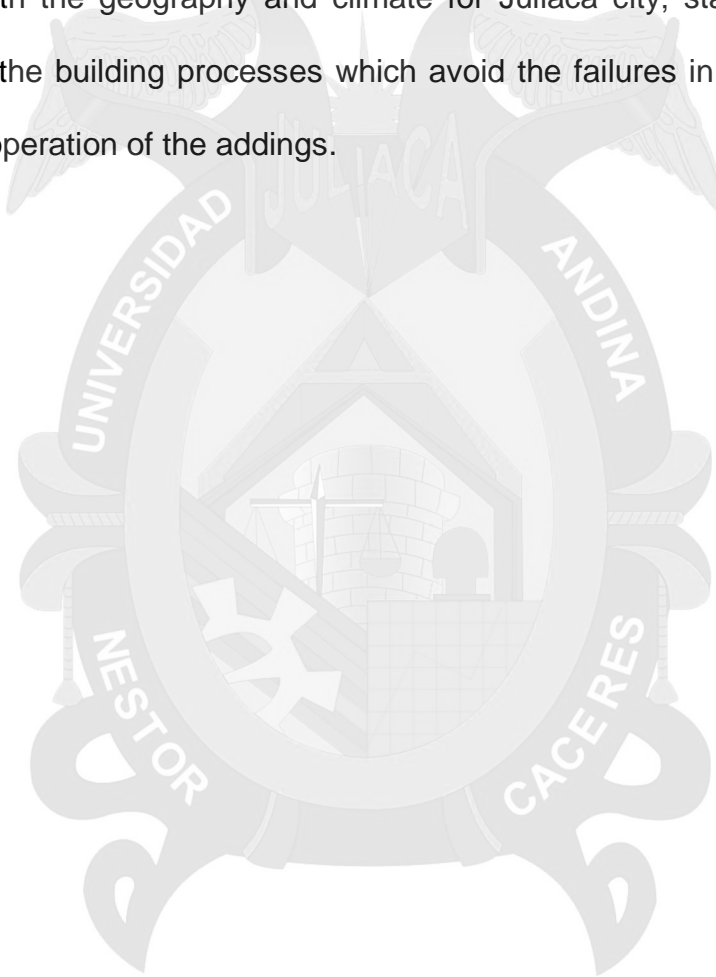
In view of the reality that we live in Juliaca city, we have the necessity to be able to improve the technology of the road surfaces in Juliaca city with the finality to achieve reaching the useful life of the road surfaces that are designed for. Within the bibliographic investigation we pretend to study the deformation of the road surfaces that is one of the failures of Juliaca city, that is why, it is fundamental to know about it, so that way we can take forecasts to make a correct execution of the construction sites in our city.

The investigation study shows the knowledge of the road surfaces failures and the different ways that is present in their layers causing functional failures as structural ones; besides knowing the road surfaces and its geological behavior, that way we can know it better and its properties really important part of the road surfaces mixing. We must specify that is fundamental the choice and the good operation of the additions referring to their gradation, shape, resistance, etc, as these ones affect directly in the road surfaces failure.

Finally, we have to give solutions in Juliaca city and for that is essential to have with lab and field equipment that allow tests to manage in a better way the road surfaces failure. We must specify that the tests and specialized equipment with



are used in other cities around the world, waiting for them in Juliaca city and in Puno department; according to this we are able to recommend to continue knowing more and deeping in the study to the use of the road surfaces in accordance with the geography and climate for Juliaca city; standing out the importance of the building processes which avoid the failures in road surfaces and the good operation of the addings.





INTRODUCCIÓN

La deformación en Pavimentos Asfálticos y sus diferentes formas de falla en pavimentos asfálticos, es una de las fallas más importantes e incidentes en el desarrollo de la vida útil de los pavimentos asfálticos; es por ello que se ha elaborado un estudio de Investigación encaminado a identificar las principales causas que generan estas falla, en la Ciudad de Juliaca, debido a su variedad del climática esque se requiere de diseños de pavimentos y mezclas asfálticas con propiedades específicas para resolver estos problemas de nuestra Ciudad de Juliaca. Además de conocer causas que originan la deformación.

En el desarrollo de la Investigación, se presentan información| sobre las características geográficas de la Ciudad de Juliaca y su clima, que incide en el comportamiento de los pavimentos asfálticos; además de otras causas que generan estas Deformaciones. También se desarrolla el concepto de conocer las características fisicoquímicas del asfalto, que depende directamente de la composición química del mismo, presentando las propiedades reológicas de los materiales asfálticos a través de la mecánica del medio continuo, así como de los parámetros reológicos aplicando la tecnología Superpave. Así mismo, si la granulometría y demás características de los agregados en la deformación de



Pavimentos Asfálticos, influyen en el diseño de la mezcla asfáltica, y aspectos constructivos.

PALABRAS CLAVE: Pavimento Asfáltico, Deformación, fallas.





CAPÍTULO I EL PROBLEMA

1.1. EXPOSICIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la actualidad la Deformación en los Pavimentos Asfálticos es un problema que se está dando en la Ciudad de Juliaca, consecuencia se podría decir del cambio climático que se está viviendo a nivel mundial y por ende en nuestra Ciudad y el departamento de Puno.

Los casos de Deformación en los Pavimentos Asfálticos como son: "Falla por Ondulación, Falla por Abultamiento, Falla por Hundimiento y Falla por Ahuellamiento", es un problema que se tiene en la en las vías de la ciudad de Juliaca, a consecuencias de varios factores, como son un malo proceso constructivo, los agregados no han sido los correctos para el diseño de la mezcla Asfáltica, el clima muy cambiante en la que hoy vivimos en nuestra Ciudad de Juliaca. Huamán, N. (2011)

En esta investigación se realizara una descripción resumida de los importantes efectos de Deformación en Pavimentos Asfálticos que se

presentan en las vías, Así mismo de las fallas más importantes, que lo afectan y de las causas que más comúnmente las originan, tanto por la amplitud del tema, como por la imposibilidad de poder realizar todas las peculiaridades que suelen caracterizar las diferentes zonas urbanas de esta Ciudad de Juliaca. Sin embargo se estima que puede ser una herramienta adecuada para colaborar en la calificación de estas Deformaciones.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo clasificamos la Deformación de los Pavimentos Asfálticos como consecuencia del deterioro de esta?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo describimos, los niveles de severidad de la Deformación de Pavimentos Asfálticos?
- ¿Los factores relevantes y mecánicos como es, las características de la mezcla asfáltica y agregados, el comportamiento Estructural del Pavimento, procesos Constructivos, inciden en la Deformación de los Pavimentos Asfálticos?



1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las principales fallas por deformación de Pavimentos Asfálticos pueden ser de tipo funcional como también estructural; por lo tanto estas son dañinas para la durabilidad en su vida útil que debe de cumplir los pavimentos asfálticos. Por ello existe la preocupación en la Ciudad de Juliaca para prevenir su presencia de estas fallas por deformación prematura, considerando aspectos determinantes como son la reología de la Mezcla Asfáltica, la Mezcla Asfáltica, calidad de materiales como es los agregados, procesos constructivos, entre otros aspectos que aseguren un mejor comportamiento del Pavimento Asfáltico, antes de esta suceda esta falla.

Con la finalidad de una mejor planificación, ejecución y un mejor control de Calidad de Pavimentos Asfálticos y que de seguro servirá como apoyo para prevenir estas fallas por deformación de los Pavimentos y se tomen las debida precauciones, es por ello que se realizó el presente proyecto de Investigación

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Efectuar un estudio bibliográfico extensivo, y para un mejor desarrollo como clasificamos la deformación de Pavimentos Asfálticos.



1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir, los niveles de severidad de la Deformación en Pavimentos Asfálticos precisando las causas que las producen, y mostrando los equipos de laboratorio y de campo especializados utilizados para evaluar este problema.
- Efectuar un estudio de Investigación extensible sobre los factores relevantes y mecanismos que originan la deformación en Pavimentos Asfálticos, las características de la mezcla asfáltica y agregados; el comportamiento estructural global del pavimento.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. INTRODUCCIÓN

Como es conocida, la deformación en Pavimentos Asfálticos se presenta en las diferentes capas de la estructura del pavimento, la misma que también puede generarse a nivel de la subrasante por diferentes causas que serán analizadas a través de este estudio. En la figura 1 se presenta la sección típica de un pavimento asfáltico convencional.

“Por ello la elaboración de un proyecto de pavimentos asfálticos deberá ser integral y muy cuidadoso en cuanto a la calidad y debida utilización de los materiales, diseños eficientes en todas sus especialidades como son el diseño de la mezcla asfáltica, diseño de la estructura del pavimento en la que se deberá realizar un estudio minucioso del tráfico y el tipo de suelos que conformas la subrasante; asimismo del drenaje, clima, etc., así como procesos

constructivos eficientes que aseguren la durabilidad de los pavimentos", Huamán, N. (2011)

"En la Ciudad de Juliaca, la deformación de los Pavimentos Asfálticos en sus diferentes formas, es una de las fallas más importantes e incidentes en el comportamiento de los pavimentos asfálticos; motivo por cual se considera que es importante elaborar un estudio bibliográfico dirigido a encontrar las principales causas que generan estas fallas; ya que su conocimiento permitirá tratarlas mejor, ayudando de esta manera a solucionar por lo menos en parte las fallas prematuras de los pavimentos asfálticos en la ciudad de Juliaca que generan ingentes pérdidas económicas a la Ciudad de Juliaca y al país". Huamán, N. (2011)

Figura 1

Sección Típica de un Pavimento Flexible



Fuente: "El Estado del Arte de los Pavimentos Asfálticos" Huamán, N. (2011).



2.1.2. GEOGRAFIA DE LA CIUDAD DE JULIACA

“La durabilidad de los pavimentos asfálticos en la Ciudad de Juliaca está relacionada directamente con el clima del lugar de ubicación de estos, además de otros parámetros como carga, suelo, humedad, proceso constructivo, entre otros; los que en su conjunto influyen para un determinado comportamiento del pavimento que traerá como consecuencia fallas prematuras por deformación de Pavimentos Asfálticos si se descuidan estas consideraciones de diseño”. Huamán, N. (2011)

“En este contexto es muy importante considerar que la Geografía de la Ciudad de Juliaca es una de las más complejas y diversas. La ciudad de Juliaca está ubicada en la parte norte de la provincia de San Román, en el centro del departamento de Puno. La capital distrital se localiza a 15° 29' 27" de latitud sur, 70° 07' 37" de longitud oeste, a 3824 msnm. Ubicándose en el puesto 45 entre las ciudades más altas del mundo”.

2.1.3. LA VARIEDAD DEL CLIMA EN LA CIUDAD DE JULIACA

En lo referente al clima, la ciudad de Juliaca presenta una amplia oscilación entre el día y la noche; aunque predomina el frío, siendo éste más intenso en el invierno, principalmente en los meses de junio y julio, alcanzando valores inferiores a 0 °C.

En cuanto a su temperatura media esta es de entre 4 a 10 °C, la temperatura máxima se mantiene uniforme a lo largo del año durante todos los meses con un promedio de 18,08 °C, no de la misma manera la temperatura mínima que tiene como un promedio los -7,5 °C durante el mes de julio.

Generalmente el verano es la estación húmeda, incluye los meses de diciembre a marzo, en los cuales la precipitación media varía entre los valores de 85,9 mm a 183.3 mm, la mejor temporada para visitar Juliaca es la primavera, comprendida entre septiembre y diciembre, ya que es soleada y con poca humedad.

Cuadro 1

Parámetros Climatológicos Promedio de Juliaca

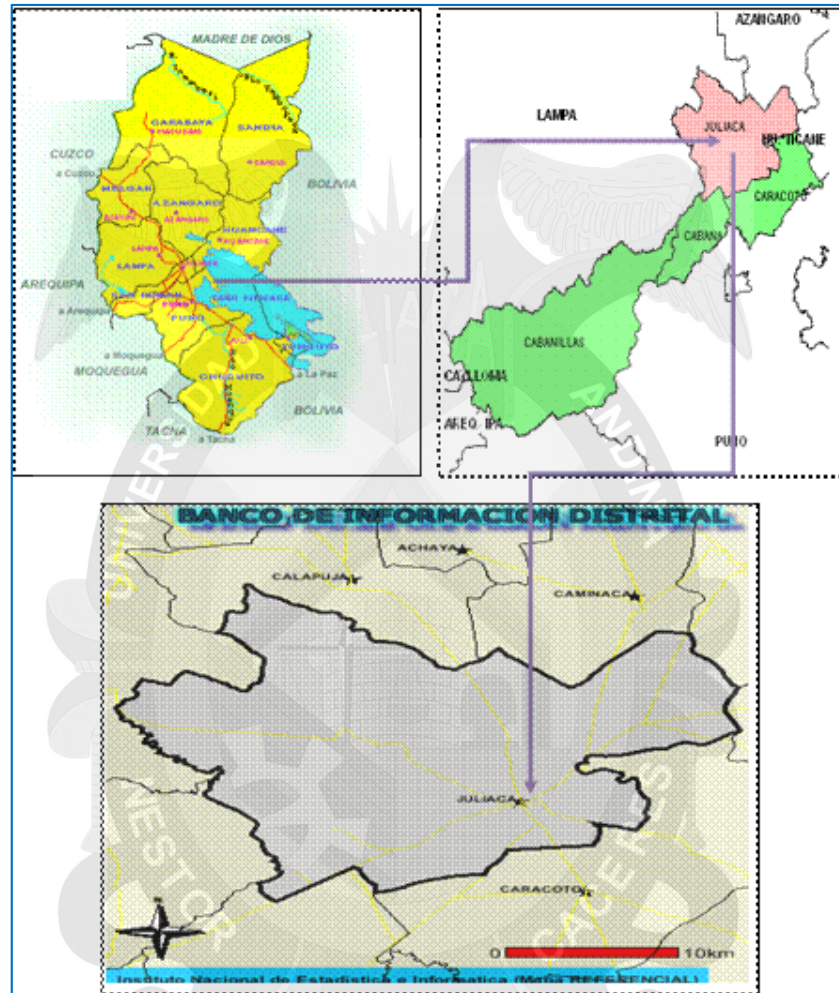
Parámetros climáticos promedio de Juliaca, Perú (1961-1990; 3 824 msnm)													
Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	24	21	20	20	21	19	20	20	23	22	22	24	24
Temp. máx. media (°C)	16.7	16.7	16.5	16.8	16.6	16.0	16.0	17.0	17.6	18.6	18.8	17.7	17.1
Temp. media (°C)	10.15	10.1	9.85	8.7	6.4	4.5	4.25	5.8	8.1	9.45	10.15	10.35	8.2
Temp. mín. media (°C)	3.6	3.5	3.2	0.6	-3.8	-7.0	-7.5	-5.4	-1.4	0.3	1.5	3.0	-0.8
Temp. mín. abs. (°C)	2	1.7	-3.1	-7.5	-12.0	-11.0	-13.5	-12.6	-11.7	-6.0	-6.6	-1.7	-13.5
Precipitación total (mm)	133.3	108.7	98.5	43.3	9.9	3.1	2.4	5.8	22.1	41.1	55.3	85.9	609.4

Fuente: Hong Kong Observatory,

Fuente: La enciclopedia libre Wikipedia, (2017).

Mapa 1.

Mapa Geográfico de la Ciudad de Juliaca



Fuente: [www.monografias.com/trabajos92/mejoramiento gestión y calidad/mejoramiento gestión y calidad.shtml](http://www.monografias.com/trabajos92/mejoramiento_gestion_y_calidad/mejoramiento_gestion_y_calidad.shtml).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

“El pavimento es el conjunto de capas de Material seleccionado que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a estructura del pavimento en forma



disipada la cual debe de funcionar eficientemente, la cual debe funcionar eficientemente" Llosa, J. (2006)

"El pavimento flexible cuenta importantemente con una carpeta Asfáltica en la superficie de rodadura, de una base, y de la capa de Sub base...pavimento Flexible Resulta más económico en su construcción Inicial, Tiene un Periodo de Vida de entre 10 y 15 años, pero tiene la perjuicio de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil" Llosa, J. (2006)

"El pavimento tiene como principio fundamental proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, como es de color y textura apropiada, resistencia a las cargas de tránsito, así como el de transmitir los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas por el tránsito" Llosa, J. (2006)

2.2.1.1. CICLO DE VIDA DE UN PAVIMENTO

"Los pavimentos sufren un proceso de deterioro permanente debido a los diferentes agentes que actúan sobre ellos, tales como: el agua, el tráfico, la gravedad en taludes, etc...estos elementos afectan al pavimento, en mayor o menor medida, pero su acción es permanente y termina deteriorándolo a tal punto que lo puede convertir en intransitable" Menéndez, J. (2003)



El ciclo del Pavimento Consta de las siguientes etapas.

Fase A: Construcción

Menéndez, J. (2003) dice: "Un camino puede ser de construcción sólida o con algunos defectos. De todos modos entra en servicio apenas se termina la obra... el camino se encuentra, en ese momento, en excelentes condiciones para satisfacer plenamente las necesidades de los usuarios". (Punto A del gráfico 2).

Fase B: Deterioro lento y poco visible

"Durante un cierto número de años, el pavimento va experimentando un proceso de desgaste y debilitamiento lento, principalmente en la superficie de rodadura.

Este desgaste se produce en proporción al número de vehículos livianos y pesados que circulan por él, aunque también por la influencia del clima, del agua de las lluvias o aguas superficiales y otros factores". Menéndez, J. (2003)

Fase C: Deterioro acelerado

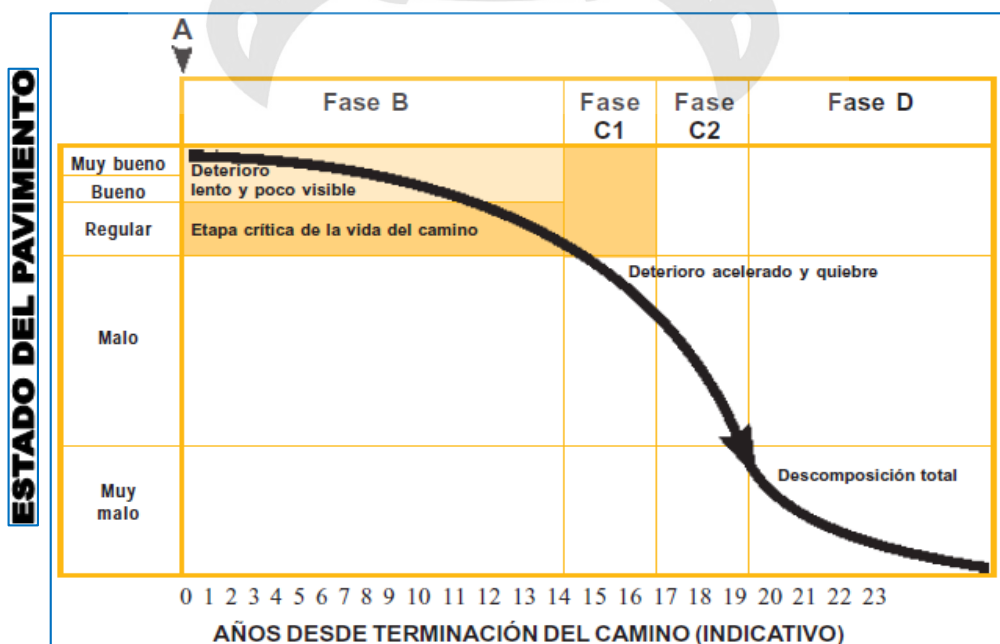
"Después de varios años de uso, la superficie de rodadura y otros elementos del Pavimiento están cada vez más (agotados); el pavimento entra en un período de deterioro acelerado y resiste cada vez menos el tránsito vehicular (ver

Figura 2). Los daños comienzan siendo puntuales y poco a poco se van extendiendo hasta afectar la mayor parte del Pavimento. Esta fase es relativamente corta, ya que una vez que el daño de la superficie se generaliza, la destrucción es acelerada". Menéndez, J. (2003)

Fase D: Descomposición total

"Esta fase del pavimento constituye la última etapa de su existencia y puede durar varios años. Durante este período el paso de los vehículos se dificulta seriamente, la velocidad de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida a sólo una fracción de la original". Menéndez, J. (2003)

Figura 2.
Condición de la vía Nueva



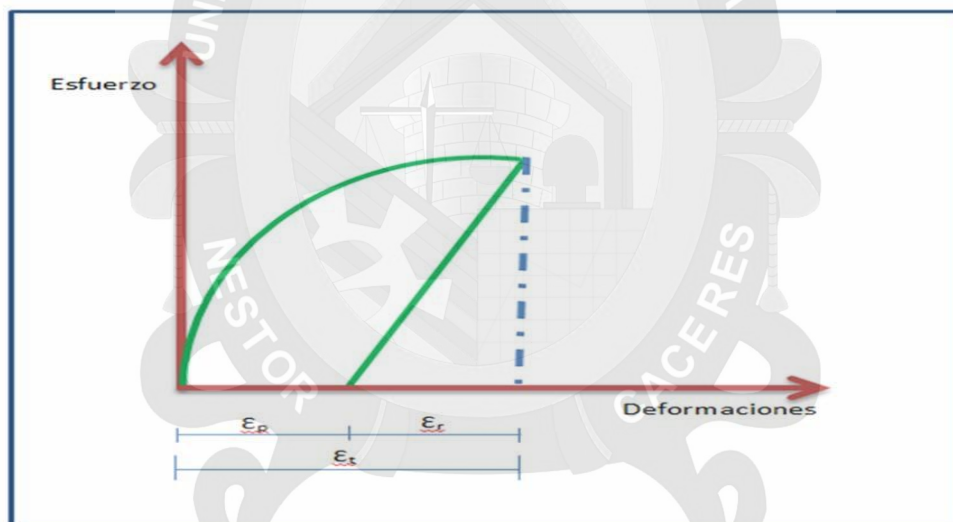
FUENTE: "Mantenimiento Rutinario de Caminos con Microempresas" Menendez, J. (2003)

2.2.2. DEFORMACIÓN EN PAVIMENTOS ASFALTICOS

“Cuando a un material granular se inducen ciclos de carga y descarga, parte de la deformación total (ξ_t) que se genera es recuperada lo que se conoce como deformación resiliente, (ξ_r). Aquella deformación que no se recupera se acumula con cada repetición del ciclo y se le denomina deformación permanente (ξ_p)”. Huamán, N.(2011).

Figura 3.

Curva típica esfuerzo - deformación en un ciclo de carga y descarga.



Fuente: “Tesis de Grado: Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos. Universidad UPC”. Padilla, R (2007).

En un pavimento estas deformaciones generan hundimientos o desplazamientos que en exceso pueden generar fallas funcionales y/o estructurales.

“Así por ejemplo el ahuellamiento que es una forma de deformación permanente, puede tener varias causas como es la debilidad de la mezcla asfáltica en caliente (HMA - Hot



Mix Asphalt) por daño de la humedad, abrasión, densificación del tránsito (causado usualmente por varias aplicaciones de carga consecutivas)". Huamán, N. (2011).

2.2.2.1. CAUSAS QUE ORIGINAN LAS FALLAS

a). SOLICITACIONES DE CARGAS A UN PAVIMENTO.

"El tránsito tiene una gran influencia en la aplicación de las cargas en un pavimento y su caracterización es bastante compleja debido no solo a la variabilidad de los distintos vehículos existentes, sino también a las interacciones vehículo-pavimento que producen fenómenos con solicitudes adicionales a las propias cargas estáticas del tránsito". Huamán, N.(2011).

Para caracterizar las solicitudes producidas por el tránsito a un pavimento se pueden estudiar independientemente los siguientes aspectos:

- "Magnitud de las cargas según la composición del tránsito (carga por eje, número de ejes que circulan, y número de repeticiones de carga)". Huamán, N.(2011).
- Forma geométrica de cada solicitud sobre el pavimento (área de contacto y reparto de presiones sobre la misma).



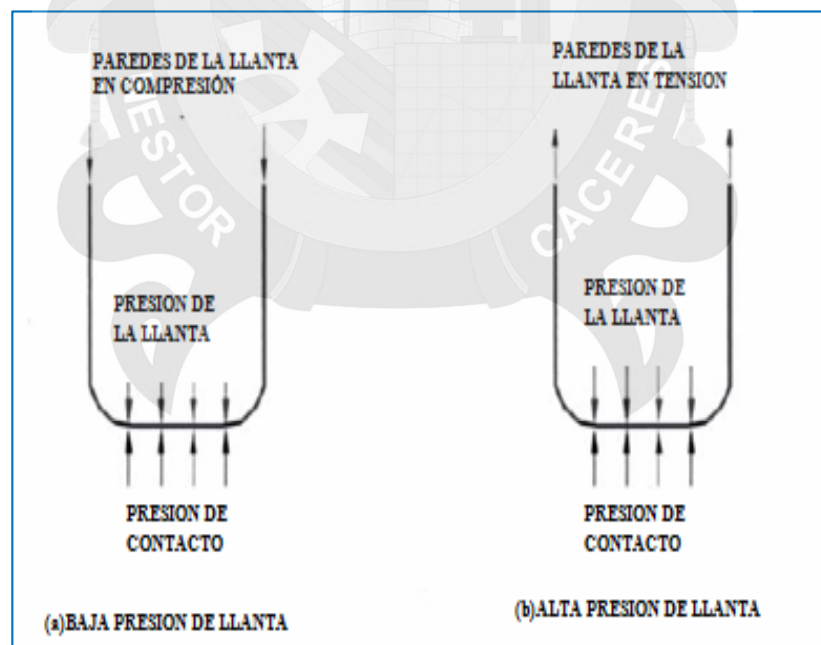
- “Velocidad de los vehículos y tiempo de solicitud en un punto”. Huamán, N.(2011).
- “Estados de esfuerzos que producen las cargas, en función de su magnitud y tipología (verticales, tangenciales, fenómenos de impacto, etc”. Huamán, N.(2011).
- Características de las capas del pavimento.

“Las cargas de los vehículos al pavimento se transmiten a través de las ruedas, en los métodos de diseño mecanicistas es necesario conocer el área de contacto de la llanta con el pavimento, asumiendo que la presión de contacto depende de la presión de inflado del neumático, como se indica en la figura 4, la presión de contacto es más grande que la presión de la llanta, para presiones bajas de la llanta, debido a que la pared de la misma está en compresión y la suma de las fuerzas verticales de la pared y presión de la llanta, deben ser iguales a la fuerza debido a la presión de contacto; la presión de contacto es más pequeña que la presión de la llanta, para presiones altas de las llantas, debido a que la pared de la llanta está en tensión. Sin embargo, en el diseño de pavimentos, la presión de contacto generalmente se asume igual a la presión de la llanta, debido a que los ejes

de carga pesados tienen presiones altas y efectos más destructivos en el pavimento, utilizar la presión de la llanta como presión de contacto, es estar por el lado de la seguridad". Huamán, N.(2011).

Cuando se utiliza la teoría multicapas en el diseño de pavimentos flexibles, se asume que cada llanta tiene un área de contacto de forma circular, esta suposición es incorrecta, pero el error en el que se incurre no es significativo.

Figura 4:
Relación entre la presión de contacto y la presión de la llanta.



Fuente: "Técnica No. 197: Mecánica de Materiales para Pavimentos".
Garnica P, Gómez J, Sesma J (2002).

"Otro aspecto a considerar acerca del vehículo es la velocidad, si se utiliza la teoría viscoelástica para el diseño



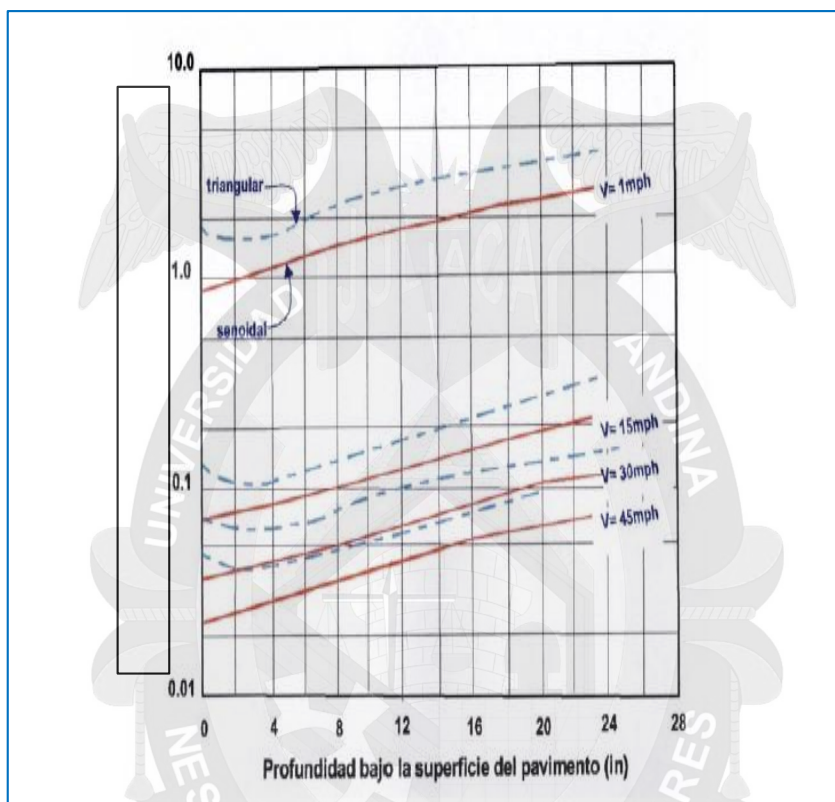
del pavimento, la velocidad está directamente relacionada con la duración de la carga; si se utiliza la teoría elástica, debe seleccionarse adecuadamente el módulo de resiliencia de los materiales para el pavimento, en proporción con la velocidad del vehículo” Huamán, N.(2011).

Se ha supuesto en algunos casos que los esfuerzos aplicados por una llanta en movimiento se aproximan a una forma senoidal, cuya duración depende de la velocidad del vehículo y de la profundidad del punto al que se está haciendo referencia.

“Asimismo sobre los tiempos de pulsación a diferentes profundidades bajo la superficie del pavimento, así como también a diferentes velocidades se ha observado cómo a mayor velocidad del vehículo, el tiempo de aplicación de la carga disminuye, también es evidente que simulando el esfuerzo vertical, con una onda triangular, los tiempos de aplicación aumenten. También el tiempo de duración de la carga aumenta con la profundidad” Huamán, N.(2011).

Figura 5:

Tiempo de pulsación para el esfuerzo vertical con carga senoidal y triangular (1 in. = 25.4mm y 1 mph = 1.6 km./hr.).

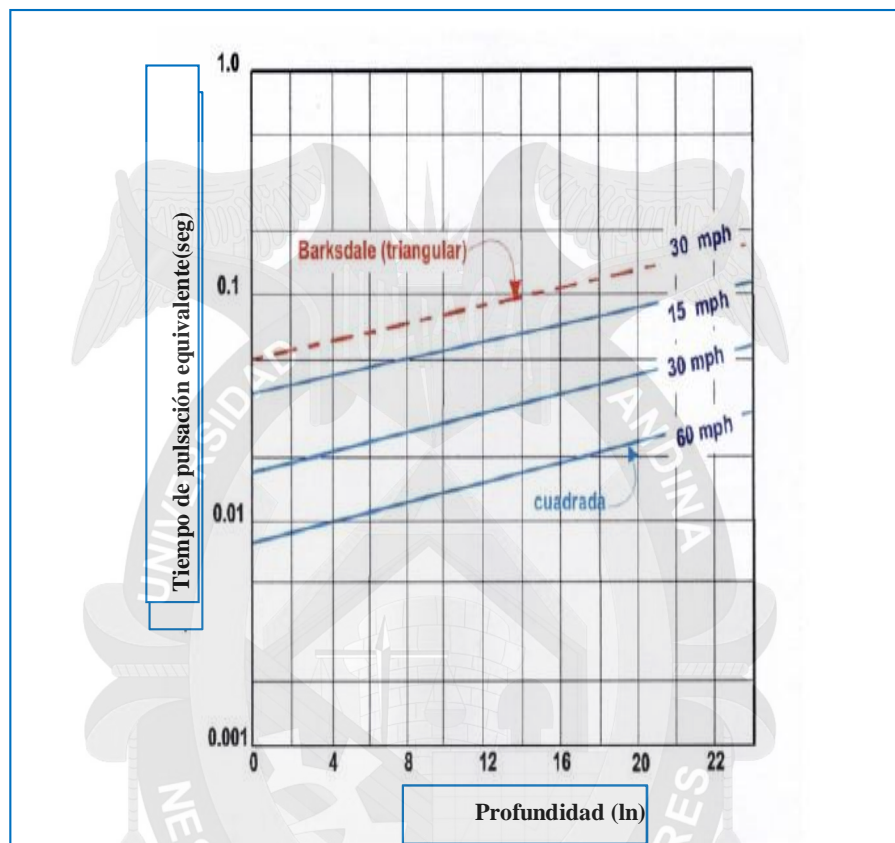


Fuente: "Mecánica de Materiales para Pavimentos". Garnica P, Gómez J, Sesma, J. (2002).

"Se determinó el tiempo de carga simulándola con una onda cuadrada, sobre la cual sobrepuso una carga triangular y una velocidad de 30 mph. Se puede ver que el tiempo de pulsación basado en una onda cuadrada es más pequeño que una triangular (figura 5)". Huamán, N. (2011).

Figura 6:

Tiempo de pulsación para el esfuerzo vertical con onda tipo cuadrada.



Fuente: "Mecánica de Materiales para Pavimentos". Garnica P, Gómez J, Sesma J (2002).

"En vista que la velocidad del vehículo no es constante, se recomienda con fines de estandarización, la onda senoidal con tiempo de duración de 0.1 segundos de aplicación de carga y un periodo de reposo de 0.9 segundos". Huamán, N. (2011).

b). NATURALEZA CÍCLICA DE LAS CARGAS QUE ACTÚAN EN UN PAVIMENTO.

"Normalmente el diseño, análisis y evaluación estructural de las condiciones de los pavimentos se basan en la teoría



elástica multicapas; este acercamiento ofrece la posibilidad de una solución racional al problema. El éxito de esta aproximación depende de la precisión y la manera en que se emplean las propiedades de los materiales". Huamán, N.(2011).

"Últimamente se han cambiado los procedimientos de diseño de los pavimentos y se ha pasado de los métodos empíricos a los métodos mecanicistas, basados en el acercamiento más racional durante su diseño". Huamán, N.(2011).

"Las principales razones de este cambio son las condiciones cambiantes en la estructura del pavimento ante la solicitud móvil de los vehículos cargados, ya que se experimentan dos tipos de esfuerzos: los estáticos por sobrecarga y los dinámicos causados por el movimiento vehicular". Huamán, N.(2011).

"Otras consideraciones importantes son el desarrollo de nuevos materiales utilizados en la construcción, nuevas configuraciones de pavimentos y la disponibilidad de programas computacionales. Dentro de los métodos racionales se encuentran los procedimientos de diseño mecanicistas; su funcionamiento es estimado y basado en



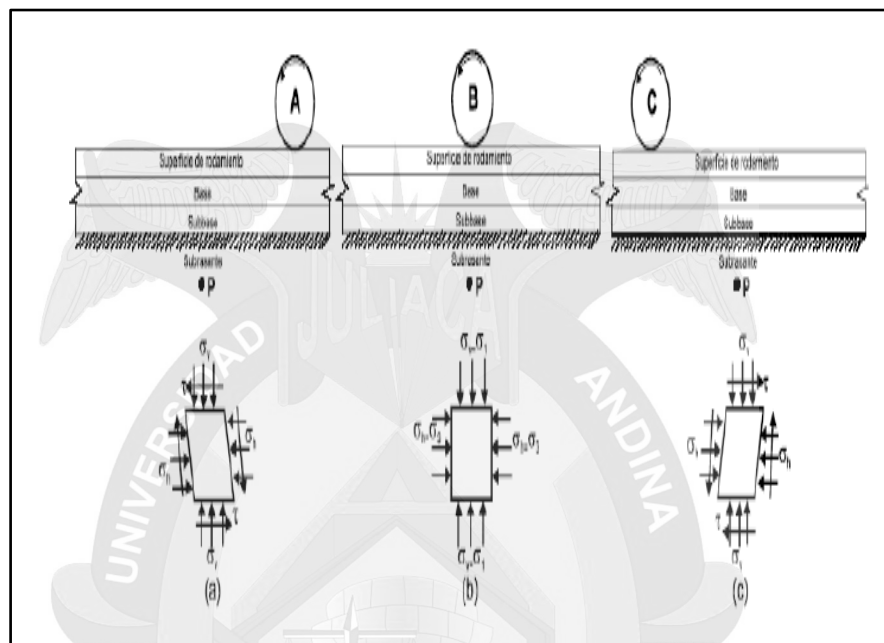
las propiedades mecánicas fundamentales de las capas de pavimento". Huamán, N.(2011).

"El acercamiento mecanicista en el diseño involucra el análisis teórico y el cálculo de esfuerzos y deformaciones en lugares críticos, como resultado de las aplicaciones de carga originadas por las ruedas cargadas. Los materiales que constituyen las diferentes capas del firme, se ven sometidos a cargas dinámicas de diversas magnitudes que le son transmitidas por el tráfico". Huamán, N.(2011).

"El patrón de esfuerzos inducidos a una estructura de pavimento como resultado del tráfico es muy complejo. Un elemento de pavimento está sujeto a pulsos de carga que involucran componentes de esfuerzos normales y cortantes; los esfuerzos son transitorios y cambian con el tiempo conforme la carga avanza. El esfuerzo cortante cambia de sentido conforme la carga pasa, provocando así una rotación de los ejes de esfuerzos principales". Huamán, N. (2011).

La figura 7, muestra una sección longitudinal de las capas de un pavimento, sobre la cual una carga se mueve a velocidad constante.

Figura 7.
Estado de esfuerzos en una sección longitudinal de un pavimento.



Fuente: "Mecánica de Materiales para Pavimentos". Garnica P, Gómez J, Sesma, J. (2002).

"El estado de esfuerzos experimentado en el punto P, debido a una carga en el punto A es, que actúan tanto los esfuerzos cortantes como los esfuerzos normales (ver 6(a)), cuando la carga se mueve al punto B, los esfuerzos cortantes son nulos y únicamente actúan los esfuerzos normales (ver 6(b)), en este punto se tiene un estado triaxial de esfuerzos, debido a que sólo se presentan esfuerzos normales, por último, la dirección de los esfuerzos cortantes originados en el punto C, es contraria a la dirección de los esfuerzos originados en el punto A (ver Figura 6 (c))". Huamán, N. (2011).



c) ESTADO DE ESFUERZOS QUE PRODUCEN LAS CARGAS EN FUNCIÓN DE SU MAGNITUD Y TIPOLOGÍA.

“Los neumáticos de los vehículos se apoyan sobre el pavimento produciendo una huella de forma distinta para cada tipo de neumático, presión de inflado, carga por rueda, velocidad y estado de la superficie. Cuando está en movimiento, además de variar la forma de la huella, aparecen sollicitaciones distintas a las verticales, que son las que existen cuando el vehículo está detenido o con movimiento uniforme: aparecen esfuerzos horizontales debido al rozamiento y a los cambios de trayectoria, succiones de agua contenida en la sección estructural y esfuerzos verticales de impacto por efectos del movimiento del vehículo y las irregularidades de la carretera”. Huamán, N. (2011).

“Los esfuerzos horizontales de aceleración y frenado o en curvas de pequeño radio, que se pueden producir en zonas localizadas, influyen también en el estado de esfuerzos y deformaciones del pavimento. Cuando en la superficie de un pavimento se originan esfuerzos tangenciales, éstos deben ser resistidos por los 8 – 10 cm. superiores, pero en general no afectan a las capas inferiores. Por ello, la forma práctica con la que se resuelven estos problemas, es proyectando capas de rodadura cuya



resistencia al esfuerzo cortante sea suficientemente alta para garantizar que no se produzcan rupturas o deformaciones". Huamán, N. (2011).

"Los efectos dinámicos de los vehículos en movimiento se transforman en impactos y vibraciones en los que intervienen el estado superficial del pavimento y el tipo de suspensión del vehículo. En general, los vehículos en marcha transmiten al neumático una carga de magnitud variable, según el movimiento oscilatorio de la masa suspendida, cuya frecuencia varía como la velocidad y tipo de pavimento. Los máximos pueden ser un 50 superiores a los normales con carga estática. Este aumento de cargas refleja sobre el pavimento en forma de presión de contacto y/o incremento de la superficie de rodada". Huamán, N. (2011).

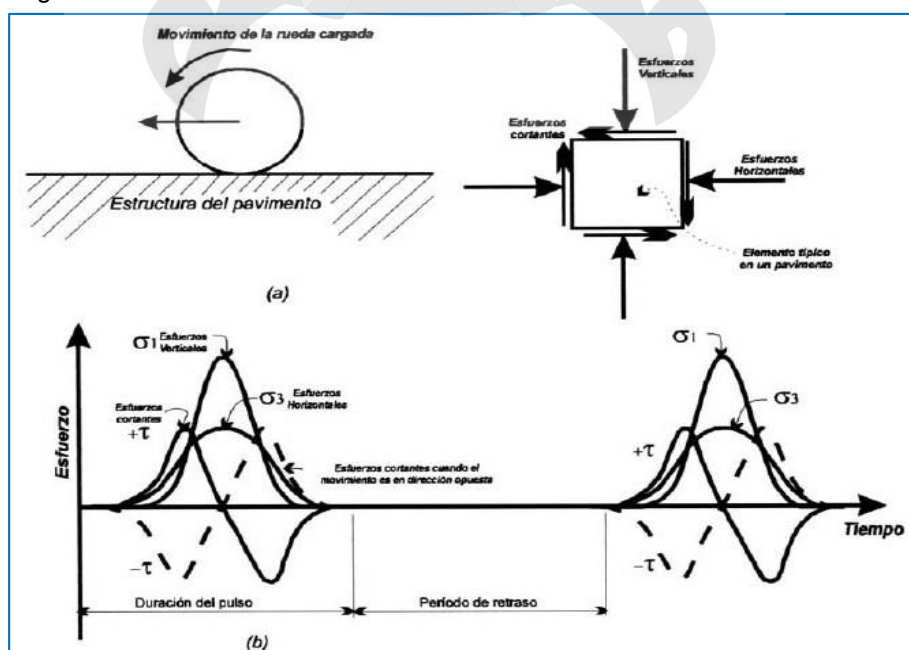
"En la figura que a continuación se muestra se puede distinguir que cuando la rueda cargada avanza, se producen pulsaciones de los esfuerzos verticales y horizontales, que son acompañados de una doble pulsación del esfuerzo cortante con una señal contraria en el plano horizontal y vertical; se muestra la relación entre esfuerzo y tiempo. Refiriéndonos a la figura anterior, se observa que a medida que el vehículo se va acercando al punto P, el esfuerzo

cortante se incrementa hasta llegar a un máximo para luego decrecer hasta un valor de cero, en ese momento el esfuerzo vertical es máximo; luego se incrementa nuevamente, pero ahora con signo contrario hasta lograr un máximo negativo, para después decrecer y llegar a un cero; describiendo con este comportamiento una onda senoidal completa". Huamán, N. (2011).

"Se puede apreciar el desarrollo de los esfuerzos verticales, horizontales y cortantes originados por las cargas del tráfico. El funcionamiento correcto del pavimento depende en gran medida de las propiedades mecánicas de los materiales". Huamán, N.(2011).

Figura 8.

Estado de esfuerzo en un pavimento debido al movimiento de una rueda cargada.



Fuente: Publicación Técnica No. 197: Mecánica de Materiales para Pavimentos. México, Garnica P, Gómez J, Sesma J (2002).



“El estado de esfuerzos descrito anteriormente se presenta en forma repetida cuando el paso de los vehículos se hace constante, este proceso depende de la acumulación de los ejes equivalentes”. Huamán, N.(2011).

a.3) CARGAS POR EJE EQUIVALENTE DE LOS VEHÍCULOS Y PRESIÓN DE CONTACTO DE LOS NEUMÁTICOS CON EL PAVIMENTO.

“Las cargas de los vehículos se transmiten al pavimento por medio de los neumáticos, el área de contacto es muy importante, la presión de contacto, depende de la presión de inflado de los neumáticos, como se ha dicho, la presión de contacto es más grande que la presión de la llanta, para presiones bajas de la llanta y la presión de contacto es más pequeña que la presión de la llanta, para presiones altas de las llantas. Las presiones altas de contacto sobre los pavimentos están directamente relacionadas con los valores de las cargas por eje de los vehículos, lo que conlleva a la formación de roderas son presiones altas de contacto sobre los pavimentos”. Huamán, N. (2011).

“En 1994 se realizó el proyecto con el Strategic Highway Research Program (SHRP) en donde se analizó el efecto del estado de esfuerzos sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas con respecto a las deformaciones plásticas. Durante una serie de

ensayos que tenía como fin observar el comportamiento de las mezclas asfálticas bajo distintas condiciones, esto es, utilizando dos niveles de esfuerzo, uno alto y otro bajo, al final se determinó que un incremento en la presión de contacto de los neumáticos con el pavimento produce un decremento en la resistencia de las mezclas asfálticas ante las deformaciones plásticas". Huamán, N. (2011).

a.4) NÚMERO DE REPETICIONES DE CARGA.

"Se ha determinado que un aumento en el número de repeticiones de carga establece una disminución en la resistencia de los pavimentos a la generación de deformaciones plásticas, es decir, cuando se incrementa el número de repeticiones de carga, el pavimento es más susceptible a sufrir este tipo de deterioro". Huamán, N.(2011).

"Cada paso de los neumáticos por un punto sobre el pavimento, se puede considerar como un pulso de carga, si la mezcla asfáltica está a una temperatura relativamente alta, esta condición le permite comportarse de una manera viscoelastoplástica ante las sollicitaciones del tráfico, cada pulso de carga, se irá acumulando permanentemente lo que generará los ahuellamientos". Huamán, N. (2011).

b). LOS AGREGADOS PÉTREOS, FILLER, LIGANTE ASFÁLTICO

y otras causas que pueden generar deterioro por deformación permanente ya han sido tratados en los capítulos precedentes.



c). EL AGUA

“El agua puede aumentar la susceptibilidad de una mezcla asfáltica a las deformaciones plásticas permanentes. Los efectos del agua pueden ser considerados en la fase inicial de diseño de las mezclas o como una parte del proceso de evaluación de las mezclas. Cuando existe una modificación de la estructura de pavimento de estado seco a húmedo, se presenta una disminución de la resistencia de la mezcla”. Huamán, N.(2011).

“En 1993, se realizó un estudio en la Universidad del Estado de Oregon en E.U.A., donde se demuestra que la propensión a los ahuellamientos de las mezclas asfálticas se incrementa significativamente si está sujeta a saturación sostenida de agua. Los resultados fueron obtenidos a partir de ensayos de cortante simple en mezclas antes y después de someterlas a la acción del agua. El incremento en las huellas que podrían ocurrir in situ pueden ser estimadas utilizando el procedimiento presentado por el programa SHRP”. Huamán, N. (2011).

2.2.2.2. INFLUENCIA DE LA GRADUACIÓN DE LOS AGREGADOS

“Existe suficiente evidencia que indica que las granulometrías densas son las deseables en la elaboración de las mezclas asfálticas debido a que mitigan los efectos de los ahuellamientos. Cuando las mezclas asfálticas densas o de granulometrías continuas, se compactan propiamente se logran mezclas con menor porcentaje de



vacíos y con mayores puntos de contacto entre las partículas que las mezclas de granulometría abierta". Huamán, N. (2011).

Se ha determinado que las mezclas abiertas o de granulometría discontinua exhiben una mayor susceptibilidad a las deformaciones plásticas y son aún más vulnerables a temperaturas altas, que las mezclas densas o elaboradas con granulometrías continuas.

"En un estudio realizado sobre el efecto de la variación de la granulometría en la generación de deformaciones permanentes de un pavimento asfáltico; se utilizó información de pruebas de fluencia para examinar los efectos de la vida relativa en términos del desarrollo de las huellas. Para llevar a cabo comparaciones se tomó como base una mezcla de trabajo que consiste en material que pasa la malla No. 4 y se retiene en la No. 10 de ASTM; la mezcla está compuesta de 18% de agregado granular, 37% de arena granular y 47% de arena fina. Estos porcentajes se utilizaron también para los demás variaciones de granulometrías (fina, granular, fina-granular, y granular-fina)". Huamán, N. (2011).

"Los resultados mostraron que las granulometrías finas y granulares experimentaron profundidades de huellas de 7% a 10% mayores a las obtenidas para la mezcla de trabajo, mientras que las variaciones de granulometrías fina-granular y granular-fina,



experimentaron profundidades de 13% a 19% mayores". Huamán, N. (2011).

"También se analizó el efecto de los tipos de agregado sobre la generación de deformaciones permanentes en mezclas asfálticas. Para dicho estudio se utilizaron dos tipos de agregados: granulometría con bajo contenido de finos (2.5%) y granulometría con contenido normal de finos (5.5%); la granulometría con contenido normal de finos tiene un tamaño máximo de agregados de 1". La granulometría con bajo contenido de finos es esencialmente la misma, con la variación del 3% en el contenido de finos. El efecto significativo en la deformación cortante permanente generado por la reducción en el contenido de finos en un 3% resultó sorprendente. Para el contenido bajo de finos se obtuvo un número de repeticiones promedio de 66,476, mientras que para el contenido normal de finos se presentó un valor promedio de 13,886, con lo que existe una diferencia del 131%". Huamán, N. (2011).

a) FORMA, TAMAÑO Y TEXTURA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

"Para una buena resistencia a las deformaciones permanentes, la textura de la superficie del agregado juega un papel extremadamente importante. Particularmente en espesores gruesos de capas de asfalto y en climas calientes o en donde se requiera textura superficial rugosa; la forma de la partícula es muy



importante. Mezclas asfálticas elaboradas con agregados angulares son menos susceptibles a las deformaciones plásticas que las mezclas asfálticas elaboradas con materiales con caras lisas o de canto rodado procedentes de río, sin triturar; el efecto de la trituración en la textura superficial no fue definido, debido a que es muy difícil separar los efectos de la textura superficial y los de la forma, debido a las caras de fractura". Huamán, N. (2011).

"Asimismo ensayos laboratorio de deformación creep, permitieron encontrar que para las mismas curvas granulométricas, las estabilidades mayores de las mezclas se lograron con agregados pétreos procedentes de trituración y las que menos estabilidad presentaron fueron las que tenían agregados con caras más redondeadas". Huamán, N. (2011).

"Una composición intermedia, la cual solo tiene la fracción de arena triturada, funciona o se comporta aún mejor que la que la formulación en la cual sólo el agregado grande fue triturado. Con esto se indica que el contacto entre partículas es más importante y significativo que el grado de trituración. Cuando se aumentan las presiones de inflado de los neumáticos, las cargas axiales y las repeticiones de carga, se tiende a emplear mezclas asfálticas con piedras de mayor tamaño". Huamán, N. (2011).



“Se ha determinado que pavimentos asfálticos elaborados con asfaltos suaves, granulometrías con tamaños de piedra de 1.5 pulgadas o mayores, y bajo porcentaje de vacíos, presentan una importante resistencia a las deformaciones plásticas permanentes. Un cambio en la forma, tamaño y textura superficial de los agregados, genera a su vez una variación en la resistencia al ahuellamiento. Así pues, el cambio de una forma redondeada a una angular, incrementa la resistencia de los pavimentos a la generación de ahuellamientos. Lo mismo sucede cuando se presenta un cambio de una textura suave a una rugosa, y cuando se incrementa el tamaño máximo de los agregados”. Huamán, N. (2011).

“El esqueleto mineral contribuye a la componente elástica del material; su forma y textura influye en las propiedades elásticas de las mezclas asfálticas, así como la compactación, ya que un esqueleto mineral bien compactado tiene un mayor comportamiento elástico”. Huamán, N. (2011).

b) Contenido de Polvo Mineral (filler) en la Mezcla.

“El polvo mineral junto con el ligante forma una masa asfáltica o mástico cuya calidad tiene una importancia fundamental en el comportamiento reológico, impermeabilidad y durabilidad de la mezcla asfáltica. Los factores que intervienen para conseguir un buen mastico son diversos”: Huamán, N. (2011).



- a) "La relación polvo mineral / asfalto de manera que cuanto más alta es ésta relación, más elevada es la viscosidad de masa y más rígida es la mezcla". Huamán, N. (2011).
- b) " La finura del polvo mineral y su afinidad por el agua. Estos dos factores están relacionados en muchos casos, pero también pueden ser bastante independientes. Cuando el polvo mineral tiene afinidad por el agua puede producirse una degradación en el tiempo, de la estructura íntima de la mezcla que se pondría de manifiesto por una menor estabilidad, con riesgo de deformaciones inesperadas; y por una clara caída de la resistencia conservada en ensayo de inmersión - compresión. Con éste ensayo puededetectarse con aceptable precisión el riesgo de degradación de la mezcla por la acción del agua sobre sus componentes minerales más finos. El riesgo de sensibilidad al agua del mortero de la mezcla puede deberse no solamente a la naturaleza del polvo mineral sino también a ciertas composiciones químicas de algunos asfaltos". Huamán, N. (2011)

"El polvo mineral tiene un papel fundamental en el comportamiento de las mezclas asfálticas por su elevada superficie específica, en función de su naturaleza, finura, actividad y proporción en la que entra a formar parte de la mezcla. Puede ser el contenido en los áridos procedente de la trituración



de los mismos, un producto comercial de naturaleza pulverulenta como el cemento o la ceniza volante procedente de central térmica o un polvo en general calizo especialmente preparado para este fin". Huamán, N. (2011).

"El polvo mineral o filler forma parte del esqueleto mineral y por lo tanto soporta las tensiones por rozamiento interno o por contacto entre las partículas, además cumple con las siguientes funciones" Huamán, N. (2011).

- "Rellena los vacíos del esqueleto de agregados gruesos y finos, por lo tanto impermeabiliza y densifica el esqueleto. Sustituye parte del asfalto o betún que de otra manera sería necesario para conseguir unos huecos en mezcla suficientemente bajos". Huamán, N. (2011).
- "Proporciona puntos de contacto entre agregados de mayor tamaño y los encaja limitando sus, movimientos, aumentando así la estabilidad del conjunto". Huamán, N. (2011).
- "Facilita la compactación, actuando a modo de rodamiento entre los áridos más gruesos". Huamán, N. (2011).
- "Hace la mezcla más trabajable al envolver los áridos gruesos y evitar su segregación". Huamán, N. (2011).



“Las especificaciones suelen dar recomendaciones sobre si el polvo mineral de las mezclas asfálticas puede ser el propio de los agregados si es una calidad adecuada y suficiente a la requerida o debe ser necesariamente, en todo o en parte, de aportación; en cualquier caso, sea cual sea, debe tratarse de un material no plástico. En otras unidades de obra diferentes de las mezclas, esta fracción no se suele considerar separadamente del resto del árido fino y, por supuesto, es de la misma naturaleza”. Huamán, N. (2011).

c) CONTENIDO DE VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL

“Está demostrado que la buena resistencia a la deformación plástica de las mezclas requieren bajo contenido de vacíos en el agregado mineral (VMA) y que la granulometría deseada para mínimos contenidos de VMA puede ser determinada usando ensayos a agregados secos. Sin embargo se debe tener precaución que contenga la mezcla el mínimo contenido de vacíos teórico en el agregado mineral. Pudiera ser no deseable que no hubiera suficientes vacíos en el agregado mineral, con esto se asegura que la cantidad de ligante asfáltico sea satisfactoria”. Huamán, N. (2011).

“Se ha observado que el efecto de los vacíos en el agregado mineral (VAM) sobre el potencial de generación de ahuellamiento en las mezclas asfálticas, utilizando el analizador

de pavimentos asfálticos APA sobre mezclas que contienen distintos tipos de agregados (calizas, granitos, entre otras), el efecto de este factor está asociado con el espesor de la capa asfáltica”.

“Un incremento en los vacíos y en el espesor de la capa de mezcla asfáltica causa un incremento en las deformaciones permanentes para mezclas de granito y caliza, mientras que causa un decremento en las deformaciones de mezclas que contienen agregados de gran tamaño”.

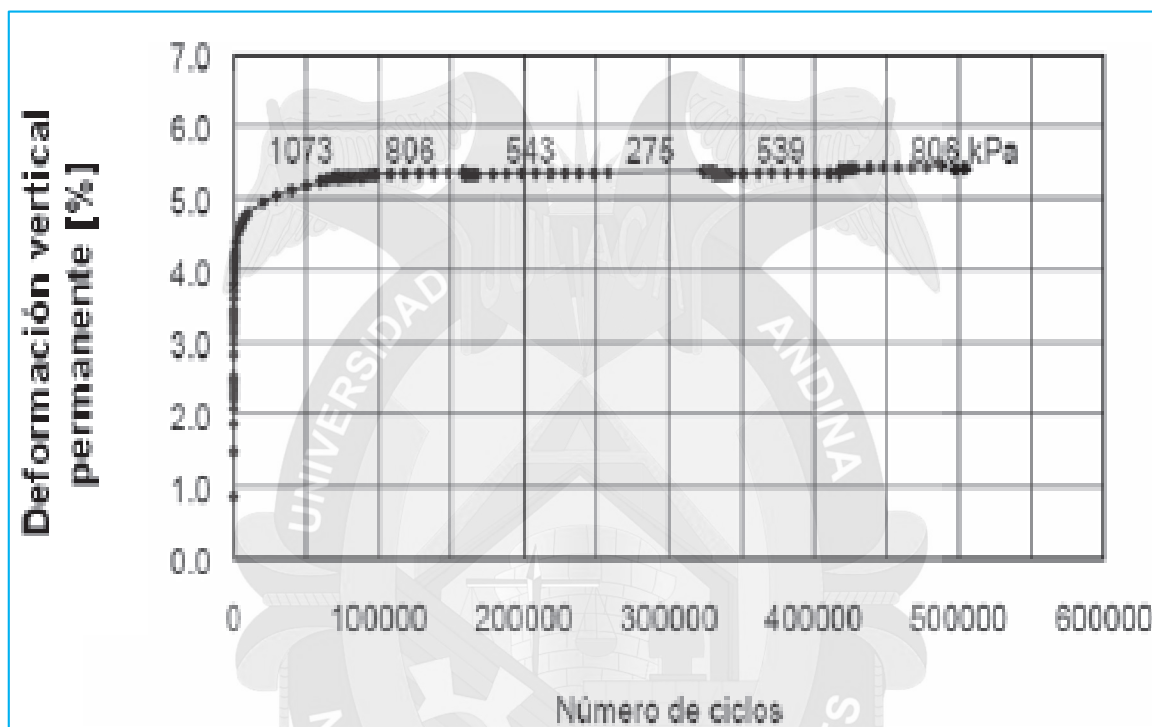
d) FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN

d.1) INFLUENCIA DE LA HISTORIA DE ESFUERZO

“Cuando la carga cíclica se aumenta gradualmente sobre un material granular la deformación es mucho más pequeña que cuando se aplica directamente la carga más grande. Es decir, cargas previas sobre estos materiales causan una reducción significativa de la deformación vertical experimentada bajo carga subsiguiente y por lo tanto, la máxima carga cíclica aplicada controla la futura magnitud de la deformación permanente (figura 9)”.

Figura 9

Influencia de la historia de esfuerzos



Fuente: "Deformación Permanente de Materiales Granulares en Pavimentos Flexibles: Estado del Conocimiento. Revista Ingenierías Universidad de Medellín" Rondón H, Reyes F. (2009).

d.2) Influencia de la historia de esfuerzo

"Existe un contenido de agua que es beneficioso para elevar la resistencia a la deformación permanente. Incrementos adicionales a este contenido óptimo de agua generan en el material un aumento del grado de saturación, acompañado por elevación de la presión de poros y disminución de los esfuerzos efectivos, lo que induce pérdida de la rigidez y de la resistencia a la deformación permanente".

Huamán, N. (2011)

“Asimismo se han realizado ensayos triaxiales cíclicos sobre un material tipo macadán y una grava-arena. En el macadán se observó que un aumento en el contenido de agua de 3.1% a 5.7% genera un incremento del 300% en la deformación permanente. De manera similar un incremento del 200% de la deformación cuando se incrementó en la grava- arena el contenido de agua de 3.0% a 6.6%.

En ensayos triaxiales cíclicos en condiciones drenadas y no drenadas, se ha observado, para un nivel de esfuerzo desviador de 140 kPa y presión de cámara de 70 kPa, que la deformación permanente se equilibró al 1% de deformación cuando la condición fue drenada, y para el caso no drenado no se observó equilibrio cuando el ensayo había terminado en el 6% de deformación”. Huamán, N. (2011).

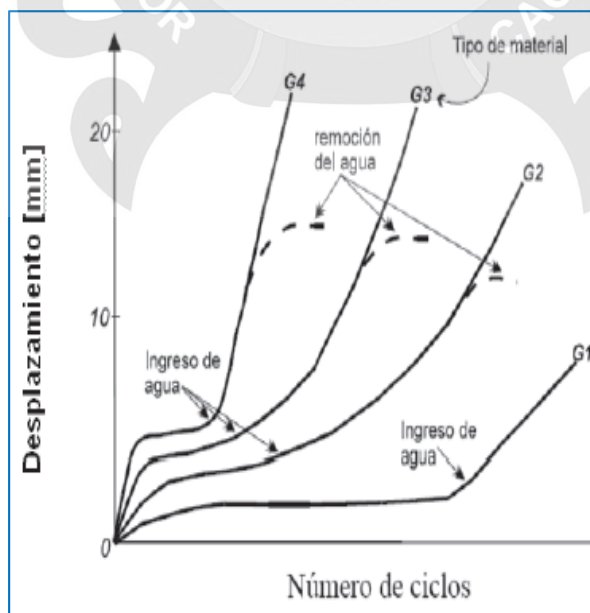
“Ensayos basados sobre pistas de prueba en Sudáfrica y empleando 4 materiales granulares distintos (G1, G2, G3, G4), reportan que la tasa de deformación permanente incrementa en el tiempo cuando es permitido el ingreso del agua a la capa granular en un pavimento y no es posible su drenaje. En un paso posterior se permitió de nuevo el drenaje en la capa granular y el material disminuyó su tasa de deformación hasta alcanzar una fase de equilibrio, como se presenta en la figura 10”. Huamán, N. (2011).

“La figura 11 presenta los resultados de la evolución de la deformación permanente con el número de ciclos, para cada una de las capas de un pavimento ensayado in situ. La estructura ensayada consistía de 1.5 cm de capa asfáltica soportada por dos capas granulares (base y sub-base) de 20 cm de espesor cada una”. Huamán, N. (2011).

“Durante los primeros 3.3×10^5 ciclos de carga no existía agua en la capa granular, luego se detuvo el ensayo y se aumentó la tabla de agua que se elevó 30 cm por debajo de la subrasante. En la figura se puede observar que después de que la tabla de agua se elevó, la deformación permanente también incrementó”. Huamán, N. (2011).

Figura 10

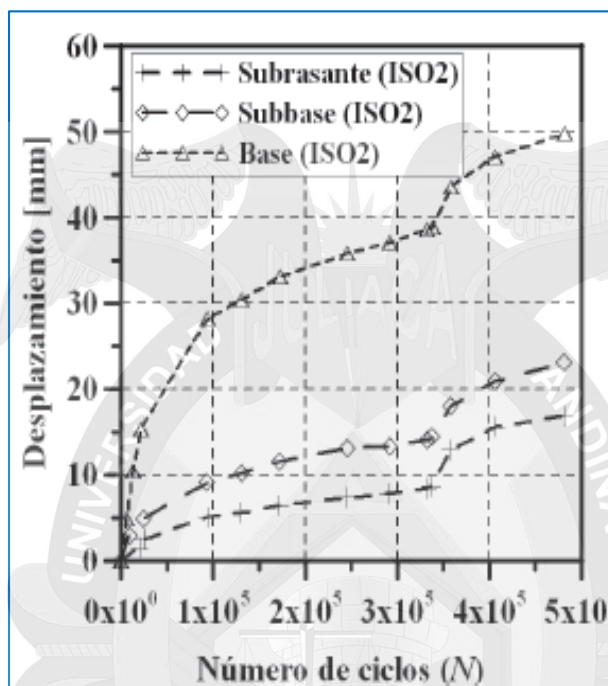
Influencia de las condiciones de drenaje sobre la deformación vertical permanente.



Fuente: “Deformación Permanente de Materiales Granulares en Pavimentos Flexible”. Rondón H, Reyes F (2009).

Figura 11.

Efecto de la elevación del nivel freático sobre la deformación vertical permanente.



Fuente: "Estado del Conocimiento. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Colombia". Rondón H, Reyes F (2009).

"También se ha verificado que adiciones progresivas de agua al material granular generan un incremento considerable en la deformación permanente, y observado que este efecto es ligeramente mayor cuando el contenido de finos es más alto. Realizando ensayos triaxiales cíclicos sobre una arena, se ha reportado que la deformación permanente que experimentó el material, cuando el grado de saturación era del 80%, fue 3 veces mayor que cuando el grado de saturación era del 55%). Basados en estudios de deformación permanente sobre tres materiales granulares distintos, se determinó que eran muy sensitivos con la variación en el contenido de agua, y la acumulación de la deformación vertical permanente fue mayor cuando la humedad se



acercaba al valor óptimo del ensayo Proctor. Así, un aumento en el contenido de agua genera un incremento notable en la deformación permanente vertical. Además, se demuestra que el grado de saturación influye en el valor del esfuerzo para el cual la deformación tiende a un valor estable (deformaciones resilientes casi en su totalidad)". Huamán, N. (2011)

"Estudios recientes llevados a cabo con (Ensayos a pequeña escala) donde se fabrican especímenes para simular las capas de subrasante y base granular en un pavimento (empleando tubos de polietileno de 36" de diámetro) han demostrado que materiales granulares empleados para conformar capas de base experimentan un incremento considerable en la deformación, si se encuentran bajo condición saturada". Huamán, N. (2011)

d.3) INFLUENCIA DE LA DENSIDAD

"En general, la reducción en la densidad de un material granular genera disminución de la resistencia a la deformación permanente. Un ejemplo de la influencia de la densidad sobre la acumulación de la deformación vertical permanente en materiales granulares se presenta en la figura 11". Huamán, N. (2011).

"En 1989, 4 laboratorios de investigación (Laboratório Nacional de Engenharia Civil- LNEC, University of Nottingham - UNOT, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées- LCPC y Delft University



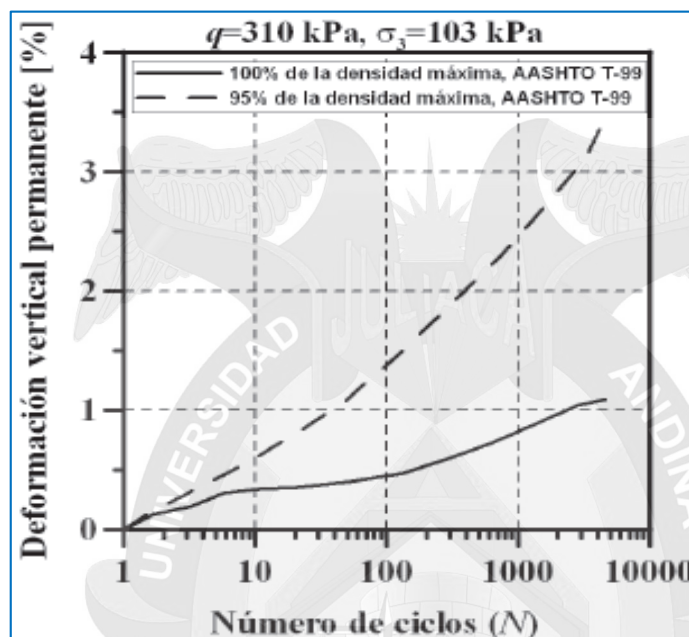
of Technology - DUT) realizaron ensayos triaxiales cíclicos sobre un material granular, uno de los fines del estudio era comparar el funcionamiento de los equipos triaxiales. Los ensayos en los 4 laboratorios utilizaron la misma granulometría, contenido de agua y trayectorias de esfuerzos. Los resultados de deformación permanente fueron distintos en los 4 laboratorios (figura 12) y esta diferenciase debió principalmente a que los laboratorios empleaban diferentes métodos de compactación de las muestras". Huamán, N. (2011).

"Se ha encontrado que un aumento en la densidad del material genera un aumento en la resistencia a la deformación permanente, pero esta influencia es pequeña para el caso del rango de densidades encontradas en pavimentos (95-100%) de la densidad máxima seca del Proctor modificado)".

"En una pista de ensayo que después de 6 meses de aplicaciones de carga el desplazamiento vertical fue de 11.3 mm en una zona de baja compactación de la capa granular (97% del valor óptimo de densidad seca del ensayo proctor), y de 3.8 mm en una zona de alta compactación (100% del valor óptimo de densidad seca)". Huamán, N. (2011).

Figura 12

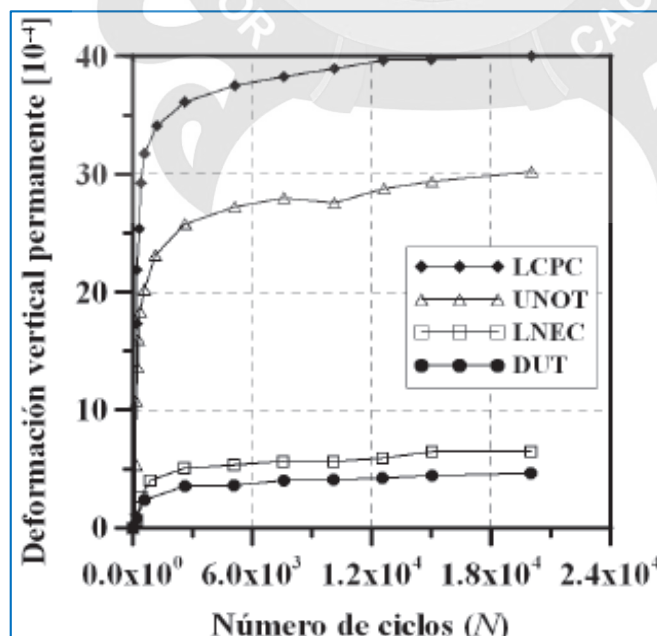
Efecto de la densidad sobre la acumulación de la deformación vertical permanente.



Fuente: "Deformación Permanente de Materiales Granulares en Pavimentos Flexibles". Rondón H, Reyes F (2009).

Figura 13

Deformación vertical permanente vs. Número de ciclos.



Fuente: "Deformación Permanente de Materiales Granulares en Pavimentos Flexibles: Estado del Conocimiento. Revista Ingenierías Universidad de Medellín". Colombia, Rondón H, Reyes F (2009).



d.4) INFLUENCIA DE LA GRANULOMETRÍA, TAMAÑO MÁXIMO, CANTIDAD DE FINOS Y FORMA DE LA PARTÍCULA

“Es sabido que muestras con gradación uniforme no compactadas presentan mayor resistencia a la deformación permanente que muestras bien gradadas sin compactar. Muestras con alta presencia de finos reducen la resistencia a la deformación permanente y materiales uniformes presentan mayor resistencia a la deformación permanente que aquellos bien gradados a pesar de que la rigidez es mayor en los materiales bien gradados”. Huamán, N. (2011).

“Materiales bien gradados presentan mayor resistencia a la deformación permanente que aquellos con granulometría uniforme. Ensayos triaxiales cíclicos sobre 3 materiales granulares con distinta gradación, demuestran que la granulometría no influye en la resistencia a la deformación permanente”. Huamán, N. (2011).

“De acuerdo con estudios realizados, materiales con partículas redondeadas experimentaron dos veces mayor deformación permanente que materiales con partículas fracturadas. Además, cuando la gradación es más fina la tendencia es a experimentar mayor deformación. Si el contenido de finos desarrolla plasticidad, la resistencia a la deformación permanente disminuye. Pavimentos con bases granulares y con gradaciones finas experimentan valores de deformación permanente de 21% superiores a aquellos que emplearon gradaciones gruesas. Contrario a lo anterior la vida de



fatiga de las estructuras de pavimentos fue 20% mayor, cuando se usa gradación más fina". Huamán, N. (2011).

"Los altos contenidos de finos son no deseables en materiales granulares, ya que causan problemas hidráulicos debido a la baja permeabilidad y la posibilidad de retener agua; lo anterior induce a obtener un material con altos grados de saturación y por lo tanto, pérdida de la resistencia a la deformación permanente". Huamán, N. (2011).

"Hay pérdida de resistencia por la presencia de altos contenidos de finos y la resistencia a la deformación permanente es mayor para materiales bien gradados. Una elevada cantidad de finos en materiales granulares genera mayor deflexión en las estructuras de pavimento, pero existe un valor óptimo de contenido de finos para el cual el material presenta la mayor resistencia a la deformación". Huamán, N. (2011).

"En la figura 14 se presenta el efecto del contenido de finos sobre la deformación permanente en resultados de ensayos triaxiales. Un incremento en el contenido de finos de 3.9 a 10.7% incrementa notablemente los valores de deformación permanente". Huamán, N. (2011).



“En la figura 15 se observa una curva típica de deformación versus número de ciclos de carga para dos materiales granulares distintos, los cuales experimentaron, aproximadamente, el mismo nivel de esfuerzo. En la figura se observa que el material G1 presenta valores de deformación menores que el material G6, debido solo a sus mejores propiedades mecánicas), por el contrario, basados en los resultados de ensayos monotónicos y cíclicos sobre 4 materiales granulares reportaron que el material con mayor CBR (60.7%, Californian Bearing Ratio) experimentó mayores deformaciones permanentes bajo carga cíclica que los demás que presentaban inferiores CBR (entre 9.1 y 47.2%)”. Huamán, N. (2011).

“Se recomienda que los ensayos triaxiales cíclicos se realicen con muestras a escala real. Lo anterior debido a que en muchas ocasiones se remueven las partículas grandes en los especímenes con el fin de reducir las muestras al tamaño requerido para poder ser ensayadas. Ensayos realizados sobre tres tipos de materiales granulares con diferentes granulometrías demuestran que la respuesta estructural de estos materiales depende del tamaño máximo de la partícula utilizada para preparar el espécimen del triaxial. La reducción de la escala de gradación genera un significativo impacto sobre las características resilientes y de deformación permanente de los materiales ensayados”. Huamán, N. (2011).



"Asimismo los materiales con gradación uniforme y partículas angulares presentan mayor resistencia a la deformación permanente que materiales con granulometrías bien gradadas y partículas redondeadas". Huamán, N. (2011).

"Se realizaron ensayos triaxiales cíclicos sobre 3 materiales granulares distintos (dolomiticlimestone, granodiorite y grava) con el fin de investigar la relación entre las propiedades de las partículas (forma, factor de rugosidad, redondez, esfericidad, fricción superficial y angularidad) y su comportamiento en términos de resistencia al corte, rigidez y resistencia a la deformación permanente". Huamán, N. (2011).

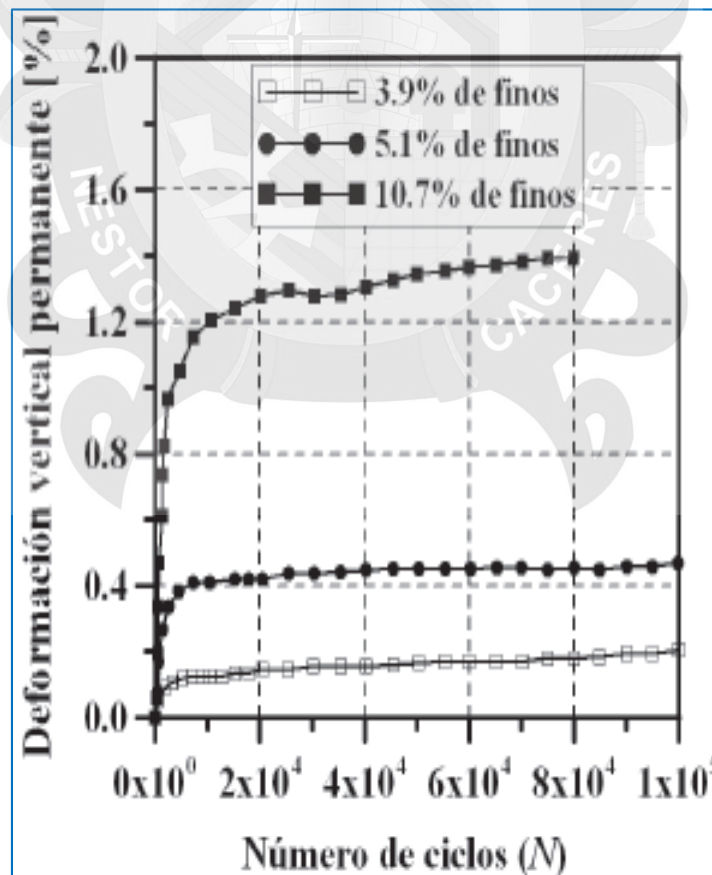
Para el estudio emplearon un equipo triaxial de 28 cm de diámetro y 56 cm de alto, del estudio se concluye que:

- "La angularidad y la redondez de las partículas tienen el más grande efecto sobre la resistencia a la deformación permanente, y presentan mayor resistencia entre más angulares sean". Huamán, N. (2011).
- "La rigidez fue influenciada por la fricción y rugosidad superficial de las partículas (a mayor fricción y rugosidad mayor rigidez)". Huamán, N. (2011).

- “No existe una relación clara entre la resistencia de las partículas y el funcionamiento de las mezclas en términos de rigidez, deformación permanente y resistencia”. Huamán, N. (2011).
- “En general, la resistencia a la deformación permanente aumenta con incremento en el ángulo de fricción”. Huamán, N. (2011).

Figura 14

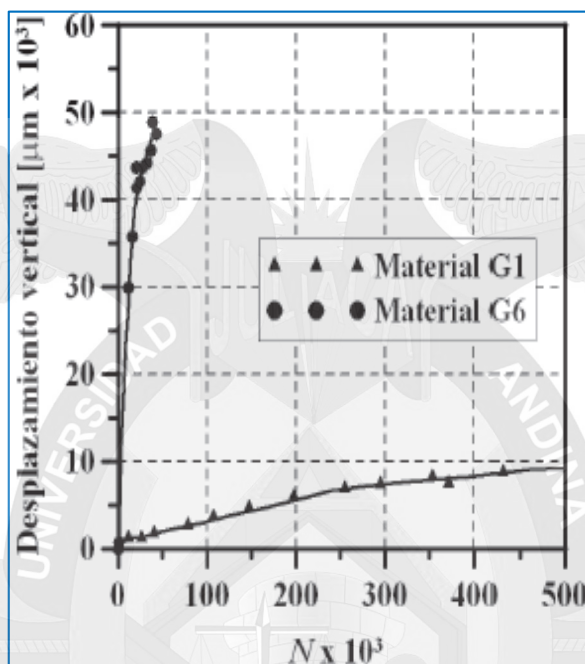
Influencia del contenido de finos sobre la acumulación deformación vertical permanente.



Fuente: “Deformación Permanente de Materiales Granulares en Pavimentos Flexibles”. Rondón H, Reyes F (2009).

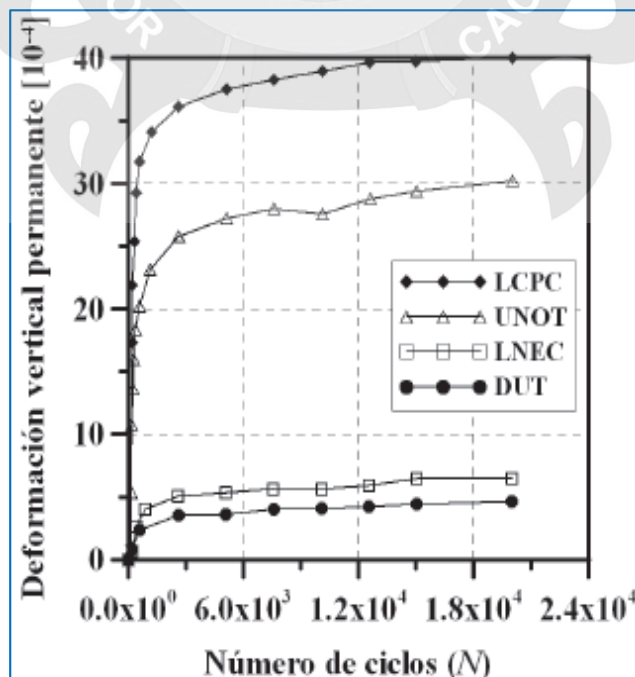
Figura 15

Influencia del tipo de material granular sobre la deformación vertical permanente.



Fuente: "Deformación Permanente de Materiales Granulares en Pavimentos Flexibles". Rondón H, Reyes F (2009).

Figura 16: Deformación vertical permanente vs. Número de ciclos.



Fuente: Artículo: Deformación Permanente de Materiales Granulares en Pavimentos Flexibles: Estado del Conocimiento. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Colombia, Rondón H, Reyes F (2009).

2.2.3. FALLAS QUE SE PRESENTAN POR DEFORMACIÓN ASFALTICAS

2.2.3.1. ONDULACIÓN (OND).

“También conocida como corrugación o rizado, es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendiculares a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas usualmente menores que 1,0 m”.

Huamán, N. (2011)

Fotografía 1

Falla por ondulación



Fuente: Ministerio de Transporte. Universidad Nacional de Colombia. INVÍAS (2006). Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles. Colombia

“**Causas:** La ondulación es una deformación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos suelen presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos”. Huamán, N. (2011)



“Otra causa puede estar asociada a un exceso de humedad en la subrasante, en cuyo caso el daño afecta toda la estructura del pavimento. Además también puede ocurrir debido a la contaminación de la mezcla asfáltica con finos o materia orgánica”. Huamán, N. (2011).

Bajo este contexto, las causas más probables son:

- Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- Exceso de compactación de la carpeta asfáltica.
- Exceso o mala calidad del asfalto.
- Insuficiencia de triturados (caras fracturadas).
- Falta de curado de las mezclas en la vía.
- Acción del tránsito en zonas de frenado y estacionamiento.
- Deslizamiento de la capa de rodadura sobre la capa inferior por exceso de riego de liga.

Severidades

- “**Baja:** Profundidad máxima menor que 10 mm, causa poca vibración al vehículo, la cual no genera incomodidad al conductor”. Huamán, N. (2011).
- “**Media:** Profundidad máxima entre 10 mm y 20 mm, causa una mayor vibración al vehículo generando incomodidad al conductor”. Huamán, N. (2011).

- **“Alta:** Profundidad máxima mayor que 20 mm, causa una vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad, haciendo necesario reducir la velocidad por seguridad”. Huamán, N. (2011).

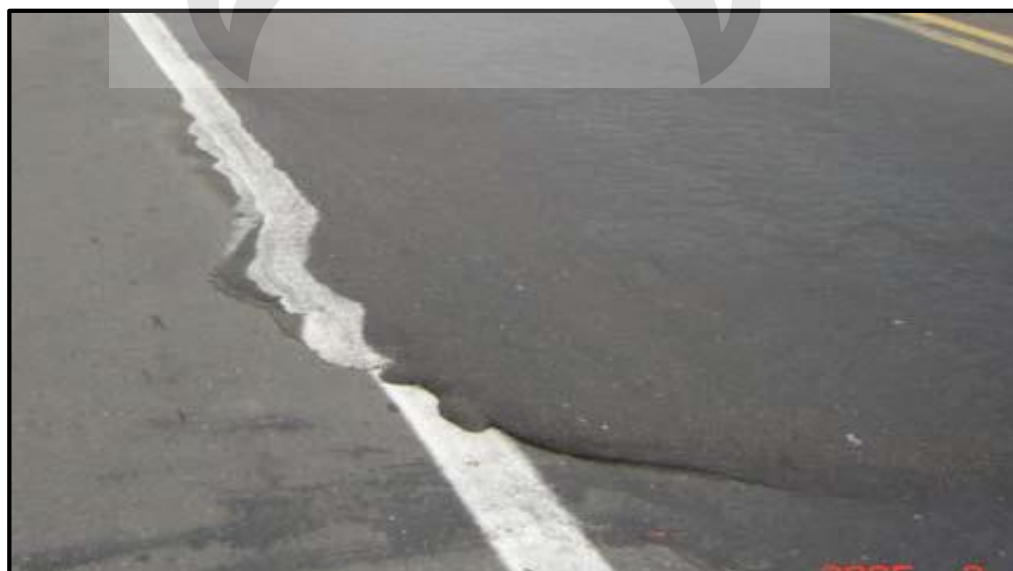
“Unidad de medición: La ondulación se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada. Evolución probable: Exudación, ahuellamiento”. Huamán, N. (2011).

2.2.3.2. ABULTAMIENTO (AB).

“Este deterioro se asigna a los (abombamientos) o prominencias que se presentan en la superficie del pavimento. Pueden presentarse bruscamente ocupando pequeñas áreas o gradualmente en áreas grandes, acompañados en algunos casos por fisuras”. Huamán, N. (2011)

Fotografía 2.

Falla por abultamiento



Fuente: Ministerio de Transporte. Universidad Nacional de Colombia. INVÍAS (2006). Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles. Colombia.

“Causas: Se generan principalmente por la expansión de la subrasante o en capas de concreto asfáltico colocado sobre placas de concreto rígido, el cual se deforma al existir presiones bajo la capa asfáltica (como las generadas por procesos de bombeo)”.

Huamán, N. (2011)

“También puede corresponder a una ondulación localizada.

Severidades y unidad de medición: Aplican los mismos criterios establecidos para la ondulación”. Huamán, N. (2011).

Evolución probable: Fisuración, desprendimientos, exudación, ahuellamiento.

2.2.3.3. HUNDIMIENTO (HUN).

“Los hundimientos corresponden a depresiones localizadas en el pavimento con respecto al nivel de la rasante”. Huamán, N. (2011).

“Este tipo de daño puede generar problemas de seguridad a los vehículos, especialmente cuando contienen agua pues se puede producir hidropneumático. Los hundimientos pueden estar orientados de forma longitudinal o transversal al eje de la vía, o pueden tener forma de medialuna, en cualquier caso, el reporte del daño debe incluir en las aclaraciones la orientación o la forma del hundimiento, si es fácilmente identificable en campo”. Huamán, N. (2011)

Fotografía 3

Falla por hundimiento



Fuente: Ministerio de Transporte. Universidad Nacional de Colombia. INVÍAS (2006). Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles. Colombia.

Causas: Existen diversas causas que producen hundimientos las cuales están asociadas con problemas que en general afectan toda la estructura del pavimento:

- Asentamientos de la subrasante.
- Deficiencia de compactación de las capas inferiores del pavimento, del terraplén o en las zonas de acceso a obras de arte o puentes.
- Deficiencias de drenaje que afecta a los materiales granulares.
- Diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante en los sectores de transición entrecorte y terraplén.
- Deficiencias de compactación de rellenos en zanjas que atraviesan la calzada.
- Inestabilidad de la banca.

- Circulación de tránsito muy pesado.

Severidades

- Baja: Profundidad menor que 20 mm, causa poca vibración al vehículo, sin generar incomodidad al conductor.
- Media: Profundidad entre 20 mm y 40 mm, causa mayor vibración al vehículo generando incomodidad al conductor.
- Alta: Profundidad mayor que 40 mm, causa vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad, haciendo necesario reducir la velocidad por seguridad.

Unidad de medición: Se cuantifica el área afectada en metros cuadrados (m²). Evolución probable: Fisuración, desprendimientos, movimientos en masa.

2.2.3.4. AHUELLAMIENTO (AHU).

“El ahuellamiento es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes a la zona deprimida y de fisuración”. Huamán, N. (2011)

“Un ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidroplaneo por almacenamiento de agua”. Huamán, N. (2011).

Fotografía 4

Falla por ahuellamiento.



Fuente: Ministerio de Transporte. Universidad Nacional de Colombia. INVÍAS (2006).
Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles. Colombia (Ref. Bib.13)

“Causas: El ahuellamiento ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante, generada por deformación plástica del concreto asfáltico o por deformación de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas”. Huamán, N. (2011).

“La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos, y también puede darse por una compactación



inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o de agregados redondeados". Huamán, N. (2011)

"Además, la falla estructural del pavimento puede manifestarse con daños de este tipo debido a una deficiencia de diseño, la cual se manifiesta cuando la vía está sometida a cargas de tránsito muy altas". Huamán, N. (2011)

Severidades

- Baja: Profundidad menor que 10 mm.
- Media: Profundidad entre 10 mm y 25 mm.
- Alta: Profundidad mayor que 25 mm.

Unidad de medición: Se mide en metros cuadrados (m²) de área afectada, asignando la severidad de acuerdo con la zona de mayor profundidad.

Evolución probable: Piel de cocodrilo, desprendimientos.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

❖ DETERIORO

"Desgaste que sufre el pavimento a causa de fricción, u otros factores que influyen directamente en su composición química o física" Balvin, F. (2013).

❖ PAVIMENTOS FLEXIBLES

"Es una estructura construida con productos bituminosos y materiales granulares, se caracterizan por ser elementos continuos con la particularidad de que al aplicar una carga se deforma de manera apreciable en un área relativamente pequeña generalmente el concreto asfáltico está construida sobre dos capas rígidas: Base u Sub-base". Balvin, F. (2013).

❖ ASFALTO

"Material viscoso, pegajoso y de color negro, usado como aglomerante en mezclas asfálticas para la construcción de carreteras o autopistas. También es utilizado en impermeabilizantes" Balvin, F. (2013)..

❖ EXUDACION

"Parte del asfalto contenido en la mezcla aflora a la superficie creando una película de material bituminoso puro, de aspecto brillante y, a veces, pegajosa". Balvin, F. (2013).



❖ **BACHES**

"Son deformaciones que tienen la forma de una taza. Tienen su origen en mezclas asfálticas mal dosificadas o con compactación insuficiente y zonas débiles de la subrasante". Balvin, F. (2013).

❖ **BASE**

"La base es la capa situada debajo de la carpeta (pavimento flexible). Su función es eminentemente ser resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tránsito pesado". Miranda, R. (2010).

❖ **SUB BASE**

"la sub-base es la capa situada debajo de la base y sobre la capa subrasante, debe ser un elemento que brinde un apoyo uniforme y permanente al pavimento". Miranda, R. (2010).

❖ **SUB RASANTE**

"Esta capa debe ser capas de resistir los esfuerzos que le son transmitidos por el pavimento. Interviene en el diseño del espesor de las capas del pavimento e influye en el comportamiento del pavimento. Proporciona en nivel necesario para la subrasante y protege al pavimento conservando su integridad en todo momento, aún en condiciones severas de humedad, proporcionando

condiciones de apoyo uniformes y permanentes". Miranda, R. (2010).

❖ **BERMA**

Parte de una carretera o camino contigua a la calzada, no habilitada para la circulación de vehículos y destinada eventualmente a la detención de vehículos en emergencia y circulación de peatones (banquina).

❖ **CALZADA**

Parte de la vía, destinada a la circulación de vehículos y eventualmente al cruce de peatones y animales.

❖ **CARRIL**

Parte de la calzada destinada al tránsito de una fila de vehículos.

❖ **ZANJA**

Zanja al lado del camino o carretera destinada a recibir aguas pluviales.

❖ **VIA**

VÍA Carretera, vía urbana o camino rural abierto a la circulación pública de vehículo y/o peatones, y también de animales.



❖ TRATAMIENTO SUPERFICIAL

Aplicación de una o más capas conformadas por riegos asfálticos que pueden incluir aditivos y agregados cuyas características son definidas según especificaciones técnicas. Por lo general son de una, dos y tres capas (mono capa y bicapa).

❖ RIEGO DE ASFALTICO DE IMPRIMACION

Aplicación de asfalto de imprimación a una superficie absorbente. Se para preparar una base sin tratar, sobre la que colocará una carpeta Asfáltica. La Imprimación penetra en la superficie de la base y cerrando los vacíos, endureciendo la superficie colaborando con la ligación con la carpeta asfáltica a colocar.

❖ MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

Son producidas por el calentamiento del aglutinante asfáltico, lo que disminuye su viscosidad, y permite mezclar el material con el agregado de áridos. La mezcla a 150°C para el asfalto puro, y a 160°C si el asfalto está modificado con polímeros.

❖ MEZCLA ASFALTICA EN FRIO

“Es una mezcla en frío procesada en planta u otros medios, compuesta por agregados gruesos y finos, material bituminoso y de ser el caso aditivos de acuerdo a diseño y especificaciones técnicas. Es utilizada como capa de rodadura y forma parte de la estructura del pavimento”. Huamán, N. (2011).

❖ HINCHAMIENTO

“Abultamiento o levantamiento localizado en la Superficie del pavimento, generalmente en la forma de una onda que distorsiona el perfil de la carretera”. Huamán, N. (2011).

❖ HUNDIMIENTO

Depresión o descenso de la superficie del pavimento en un área Localizada.

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La clasificamos de Deformación de los Pavimentos Asfálticos como consecuencia del deterioro de esta lo Clasificamos en: Falla por Ahuellamiento, Falla por Ondulación, Falla por Hinchamiento y Falla por Hundimiento.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Los niveles de severidad de la Deformación de Pavimentos Asfálticos como consecuencia del deterioro los describimos como BAJA, MEDIA Y ALTA



- Los factores como son las características de la mezcla asfáltica y agregados, el comportamiento Estructural del Pavimento, procesos Constructivos, inciden en la Deformación de los Pavimentos Asfálticos.

2.4.3. VARIABLES

2.4.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Deformación en Pavimentos Asfálticos

2.4.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Consecuencia del deterioro de pavimentos Asfálticos

2.4.4. OPERACIÓN DE VARIABLES

Descomposición de las variables



CUADRO 02

Operación de Variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE VALORACIÓN
Deformación de Pavimentos Variable Asociada (1)	1.1. Tipos de fallas.	Falla por Ahuellamiento	Bajo: Menor a 10 mm.
		Falla por Ondulamiento	Medio: Entre 10 y 25 mm.
		Falla por Hinchamiento	Alto: Mayor de 25mm
		Falla por Hundimiento	Bajo: Cierta vibración
			Medio: Cierta incomodidad
Consecuencia del deterioro Variable Asociada (2)	2.2. Causas más comunes	Reología del Asfalto.	Alto: Riesgo a la seguridad.
			Bajo: Apenas perceptible
			Medio: Cierta incomodidad
		Mezcla Asfáltica	Alto: Incomodidad en Manejo
		Agregados	Bajo: Menor a 20 mm.
			Medio: Entre 20 y 40 mm.
			Alto: Mayor de 40mm

Fuente: Del investigador.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

Método es el medio o camino a través del cual se establece la relación entre el investigador y el consultado, para la recolección de datos y el logro de objetivos.

Para el presente trabajo de investigación corresponde el Método descriptivo EXPLICATIVO debido a que nuestro estudio estuvo basado en el uso de teorías y doctrinas, también por el tipo de estudio que se realiza Ex–Post–Facto; a partir de lo ya acontecido, por que denota algo que sucede después de un fenómeno que tiene efecto retroactivo sobre el hecho. Trata de explicar la posible relación que se confronta en el momento actual entre las variables.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según el diseño de la investigación no experimental, descriptivo explicativo lineal compuesto causas y según la recolección de los datos de la presente investigación, el diseño adecuado para nuestro estudio es transeccional explicativo debido a que los datos obtenidos fueron recogidos en un solo momento, también de corte transversal, pues se realizará haciendo un corte temporal en el momento o tiempo único en que se realiza la medición de las variables.

Este diseño tiene como propósito encontrar la causa – efecto de los datos, describir variables y analizar la deformación en Pavimentos Asfálticos como consecuencia del deterioro de pavimentos asfálticos así mismo puede abarcar varios grupos o subgrupos de fenómenos, objetos o indicadores. El diseño transeccional explicativo compuesto se representa de la siguiente manera:

DISEÑO ESPECÍFICO

Para el presente estudio se estableció el diseño:

Esquema 1

Diseño de investigación explicativa.

$$y = f(x)$$

Dónde:

- Y Variable dependiente: Consecuencia del deterioro de pavimentos asfálticos
- f = Función: Posible la eficacia (H_o / H_a) entre Y - X
- X Variable independiente: Deformación en pavimentos asfálticos

3.3. NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

El nivel de la investigación es básica - explicativa, conocida como pura o fundamental, está destinada a aportar un cuerpo organizado de conocimientos científicos y no produce necesariamente resultados de utilidad práctica inmediata.

Se preocupa de recoger información de la realidad para enriquecer el conocimiento teórico científico, orientada al descubrimiento de principios y leyes, también de tipo no experimental conocida como investigación Ex Post Facto, término que significa después de ocurridos los hechos, tipo de investigación sistemática en la que no tenemos control sobre la variable independiente: Deformación en pavimentos asfálticos; porque ya ocurrieron los hechos y tenemos que limitarnos a la observación de situaciones ya existentes dada la incapacidad de influir sobre las variables y sus efectos (Hernández, Fernández y Baptista, 1991).



3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

Como Población se ha tomado la Ciudad de Juliaca en sus calles donde tiene tratamiento a Nivel de Pavimento Asfáltico.

3.4.2. MUESTRA

La muestra que se ha tomado para el proyecto de Investigación son sus calles de la Ciudad de Juliaca donde se tiene tratamiento a Nivel de Pavimento Asfáltico, en la que se describirá cada una de las fallas superficiales encontradas en el ámbito que se está estudiando, como el tipo de falla, el área afectada, ubicación, nivel de severidad y las posibles causas que hicieron que ocasionaran estas fallas, fotografías del daño. A su vez se adjuntará las planillas de evaluación de condición del pavimento.

Finalmente con el Estudio de Deformaciones en los Pavimentos tendremos una visión clara sobre el estado actual de las vías de la ciudad de ciudad de Juliaca, para que estas puedan ser tratadas para su mantenimiento

3.5. TÉCNICAS, E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.5.1. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Lo que corresponde a Técnica, Fuentes e Instrumentos de Investigación para la recolección de Datos está basada en la Inspección visual de campo realizado por el Investigador, así como se ha considerado varias Informaciones Bibliográficas generadas por autores de Perú y América latina, sobre Inspección, monitoreo y clasificación de fallas Superficiales de Pavimentos Asfálticos que se está estudiando en la presente Investigación.

- TECNICA : Observación visual
- INSTRUMENTO : Reglas de Campo.
- MATERIALES : Cuaderno de apuntes, lapiceros, y formatos
Elaborados para la recolección de Datos.

3.5.2. INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- a. Estructura del instrumento. Variable Deformación de pavimentos
- b. Estructura del instrumento. Consecuencia del deterioro

3.6. DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

3.6.1. DISEÑO ESTADÍSTICO

De acuerdo al tipo de investigación en el presente estudio y la población; se utilizó el estadístico de prueba denominado:



PRUEBA CHI CUADRADO:

Se adoptó el siguiente procedimiento:

a. PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS:

H₀: La clasificamos de Deformación de los Pavimentos Asfálticos como consecuencia del deterioro de esta lo Clasificamos en: Falla por Ahuellamiento, Falla por Ondulación, Falla por Hinchamiento y Falla por Hundimiento.

$$P1 = P2 = P3 = \dots = Pn$$

H_a: La clasificamos de Deformación de los Pavimentos Asfálticos como consecuencia del deterioro de esta lo Clasificamos en: Falla por Ahuellamiento, Falla por Ondulación, Falla por Hinchamiento y Falla por Hundimiento.

$$P1 \neq P2 \neq P3 \neq \dots \neq Pn$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

a. PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS

H_a: La clasificamos de Deformación de los Pavimentos Asfálticos como consecuencia del deterioro de esta lo Clasificamos en: Falla por Ahuellamiento, Falla por Ondulación, Falla por Abultamiento y Falla por Hundimiento. .

$$P1 \neq P2 \neq P3 \neq \dots \neq Pn$$

La prueba de contrastación de hipótesis es de tipo bilateral y de dos colas.

b. NIVEL DE SIGNIFICACIÓN

$$\alpha = 0.05 \quad (5\%)$$

c. PRUEBA ESTADÍSTICA

Por la naturaleza del estudio se aplicará la prueba evaluativa.

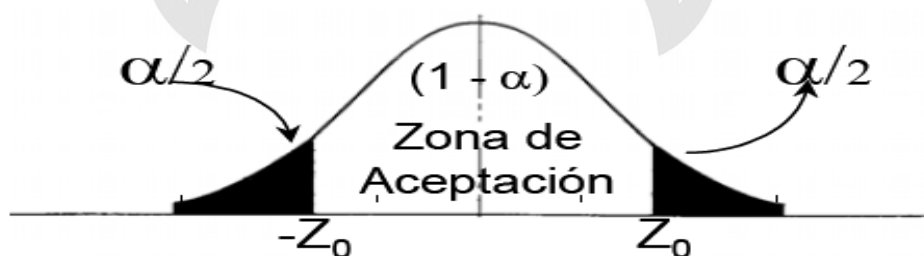
$$X_c^2 = \sum_{t=1}^k \frac{(O_t - E_t)^2}{E_t}$$

$$X_c^2 = 142.67$$

Según tabla (f-1) entonces $(4-1) = 3$; con 3 grados de libertad al 95% de confianza con un error del 5% (prueba de dos colas).

$$X_c^2 = 142.67$$

$$X_t^2 = 7.81$$

e. DECISIÓN

$$X_c^2 \geq X_t^2$$

$$\Rightarrow X_c^2 \neq X_t^2$$



Como $X_c^2 = 1.13$ para 2 grados de libertad es menor que el $X_t^2 = 7.81$ para la variable asociada 1 y $X_c^2 = 142.67$ para grados de libertad es mayor que el $X_t^2 = 7.81$ para la variable asociada 2; según tabla, se acepta la hipótesis alterna y rechaza la nula.





CONCLUSIONES

PRIMERA:

Por la geografía que presenta de la Ciudad de Juliaca, existen Diferencias temperaturas, alcanzando temperaturas que inclusive alcanzan los 24°C. Estas altas temperaturas originan por lo tanto que las carpetas asfálticas sean sometidas a temperaturas muy altas, haciéndolas proclives a la falla por deformación Asfálticas, como consecuencia de la susceptibilidad térmica que por constitución química está presente en el asfalto.

SEGUNDA:

Como estas fallas son la acumulación de pequeñas deformaciones permanentes, es necesario incrementar la resistencia de las mezclas no sólo utilizando cemento asfáltico más viscoso, sino un tipo de asfalto que se comporte más como un sólido elástico a altas temperaturas del pavimento y así tenga una mejor recuperación elástica que evite la acumulación de deformaciones plásticas



permanentes. Así, cuando se aplique la carga, el cemento asfáltico actuará como una banda elástica recuperando su posición original luego del paso de la carga en lugar de deformarse.

TERCERA:

“Cuando se evalúan las causas de deformación permanente, las propiedades volumétricas de la mezcla asfálticas tienen un rol fundamental. Dentro de los parámetros volumétricos, en ocasiones se recomienda disminuir el contenido de asfalto de las mezclas, mediante el manejo de la granulometría del agregado y valores bajos en el contenido de vacíos”. Huamán, N. (2011).

“El contenido de vacíos de aire influye en la deformación permanente, ya que un porcentaje alto de contenido de vacíos puede implicar una deficiente compactación de la carpeta asfáltica y por lo tanto la posibilidad que se presenten fallas de asentamiento o ahuellamiento de tipo estructural pudiendo ser el resultado de un mal proceso constructivo; por otro lado un bajo contenido de vacíos pueden generar exudación del cemento asfáltico en zonas de altas temperaturas ocasionando el desplazamiento de la mezcla asfáltica en la parte superior de la carpeta, pudiendo luego producirse ahuellamiento por deformación plástica”. Huamán, N. (2011).



CURTA:

Se mejora la resistencia al corte en las mezclas asfálticas, seleccionando un agregado que tenga un alto grado de fricción interna, uno que sea de forma cúbica, que tenga una superficie rugosa y pueda desarrollar un grado de contacto partícula a partícula. Agregados con un alto grado de fricción interna mejoran la resistencia de la mezcla al corte y cuando actúan en forma conjunta el cemento asfáltico de una manera integral, permiten que cuando se aplica una carga a la mezcla asfáltica, ésta actúe como una banda elástica recuperando su forma original al pasar la carga, evitando de esta forma la acumulación de deformación permanente.

QUINTA:

Hay que considerar que la deformación permanente por fallas en la subrasante, o en las capas de base o sub base bajo la capa de asfalto pueden originarse por una incorrecta selección de materiales. Sin embargo, si bien es cierto que materiales "duros" de mejor calidad pueden reducir parcialmente esta causa de deformación permanente, esta situación es considerada un problema estructural del pavimento como conjunto más que de los materiales individuales. Esencialmente, el pavimento no tiene la capacidad estructural para soportar las cargas aplicadas; debido a la presencia de las capas débiles en la estructura del pavimento. Es por eso que debe cuidarse de un correcto diseño de la estructura del pavimento



estudiando cuidadosamente las cargas, suelos de fundación y de subrasante, clima, entre otros parámetros.





REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Garnica, P.A. y Gómez, L.J., (2001). *Publicación Técnica No 176: Deformaciones permanentes en Materiales Granulares para la sección estructural de carreteras. Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Instituto Mexicano de Transporte (IMT).México.*
- Loría Guillermo (2009). *Evaluación de asfaltos modificados en laboratorio con distintos polímeros.* Costa Rica. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme UCR).
- Angelone S, Martínez F, Cauhapé M, y Andreoni R (2008). *Artículo Técnico: Influencia de los Factores de Carga y de Servicio en el Ensayo de la Rueda Cargada.* Argentina.
- Angelone S, Martínez F (2007). *Reporte Técnico RT-ID-06/02: Deformación Permanente de Mezclas Asfálticas.* Argentina.
- De Luca, Petersen (2000). *Factores intrínsecos y extrínsecos del envejecimiento de las mezclas asfálticas.* Argentina
- Cordo O, Bustos M (2008). *Artículo: Metodología Empírico - Mecánica para el Diseño Estructural de Pavimentos (MEPDG). Experiencias de Calibración.* Argentina.
- Chang C, Freeman T (2007). *Implementación de la Guía de Diseño Mecánico de Pavimentos NCHRP 1-37A en Texas.* EEUU
- Huauya O, Chang C (2007). *Tesis de Grado: Evaluación del Riesgo Potencial de Ahuellamiento en Mezclas Asfálticas Utilizando el Equipo MARC".* FIC.UNI, Perú.
- Padilla Alejandro Rodríguez (2007). *Tesis de Grado: Deformaciones plásticas en capas de rodaduras en pavimentos asfálticos.* Universidad UPC. México.



- Reyes Fredy (2005). Libro *Diseño Racional de Pavimentos*. Editorial Javeriana. Colombia.
- Rondón H, Reyes F (2009). Artículo: *Deformación Permanente de Materiales Granulares en Pavimentos Flexibles: Estado del Conocimiento*. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Colombia.
- Bariani L, Goretti L, Pereira J, Barbosa J, (2009). Libro: *Pavimentación Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros*. Petrobrás, Brasil.
- Ministerio de Transporte. Universidad Nacional de Colombia. INVÍAS (2006).
- *Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles*. Colombia
- Administración Boliviana de Carreteras (2009). *Manuales Técnicos para el Diseño de Carreteras*. Bolivia.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2000). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG 2000*. Perú
- Norma del Ensayo NLT-173 (1999). *Resistencia a la deformación plástica de las Mezclas Bituminosas mediante la pista de Ensayo de Laboratorio*. España.
- Garnica P, Gómez J, Sesma J (2002). Publicación Técnica No. 197: *Mecánica de Materiales para Pavimentos*. México.
- Huamán N (2005). *Modificación de Mezclas Asfálticas en Caliente*. XIII Congreso CILA. Costa Rica.
- Huamán N (2007). *Los Pavimentos Asfálticos y la Tecnología de Punta*. XIV Congreso CILA. Cuba.



- Huamán N (2010). *Deformación Permanente en las Mezclas Asfálticas y el Consecuente deterioro de los Pavimentos Asfálticos*. V Congreso INVEAS. Venezuela.
- Huamán N (2011). *El Estado del Arte de los Pavimentos Asfálticos*. Curso TITEX URP. Perú.
- TA INSTRUMENTS (2010). *Proveedora de Equipos SUPERPAVE*. Dr. Abel Gaspar. EEUU.
- Cooley A, Kandhal P.(2002). *Paper: Evaluation of Permanent Deformation of Asphalt Mixtures Using Loaded Wheel Tester*. National Center for Asphalt Technology Auburn University, Alabama
- Páginas Web visitadas: Trabajos de Investigación presentados en Congresos Internacionales, Artículos Técnicos publicados en revistas especializadas (2003 - 2011)
- Wikipedia, la enciclopedia libre (2011). www.wikipedia.org/wiki/Perú
- Asociación Española de la Carretera: www.aecarretera.com
- Asociación Mexicana del Asfalto : www.amaac.org.mx
- Comisión Permanente del Asfalto - argentina: www.cpasfalto.org
- Instituto Chileno del Asfalto : www.ichasfalto.com
- Instituto Brasileño de Petróleo : www.ibp.org.br
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones: www.mtc.gob.pe